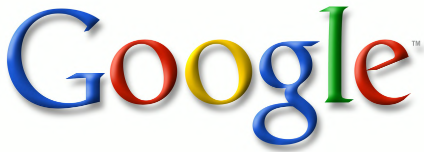
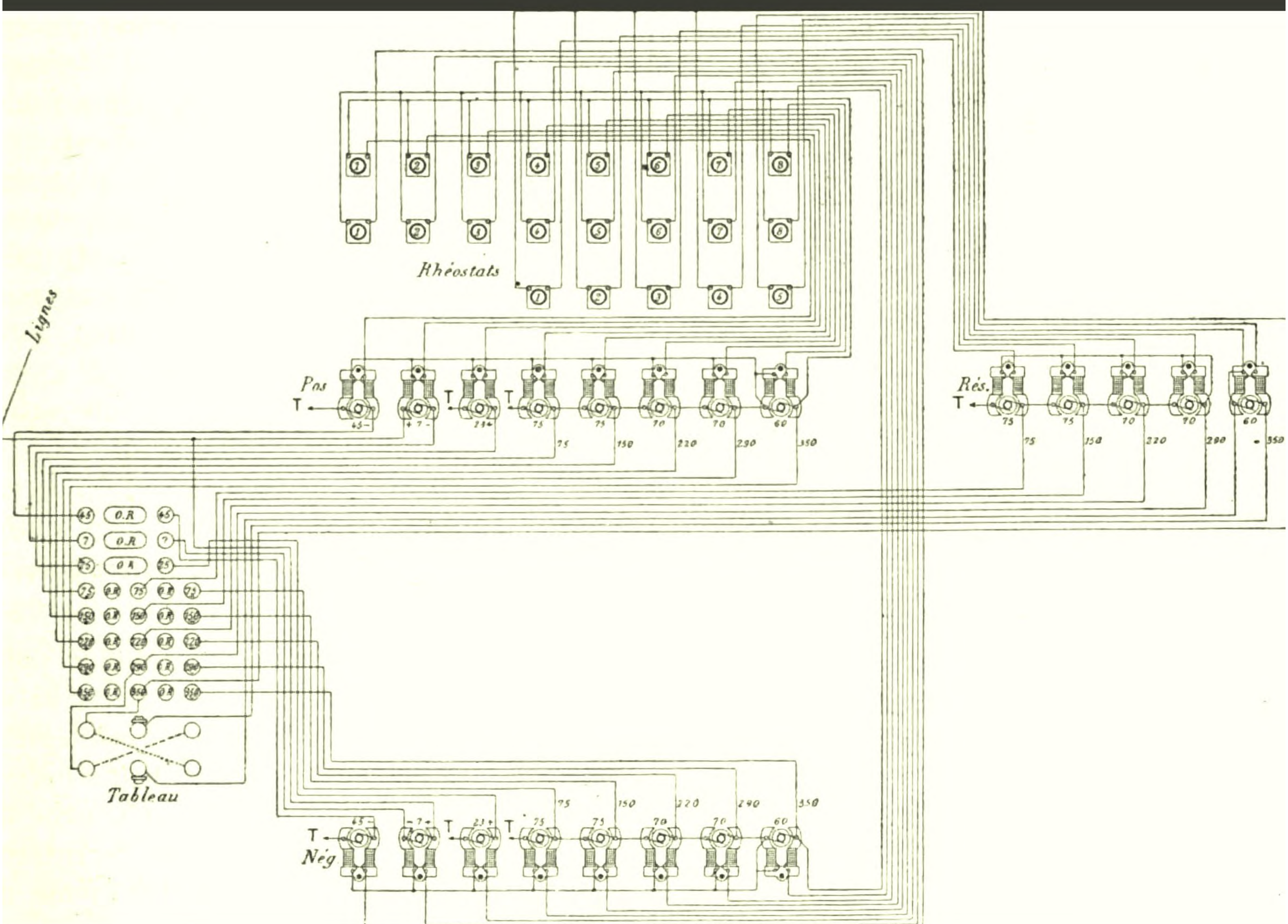




L'Éclairage électrique


SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
ET
VE RI TAS
CHRISTO ECCLESIAE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

TOME VIII

3e TRIMESTRE 1896

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome VIII | Samedi 4 Juillet 1896 | 3e Année. — N° 27

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CONGRÈS DE CARTHAGE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

La section de physique de l'Association française pour l'avancement des Sciences avait mis l'année dernière à l'étude la question de la photométrie. Cette question présente pour les électriciens un intérêt de premier ordre, qui justifie un compte-rendu détaillé dans ce journal des nombreuses communications faites sur ce sujet. A côté de celles-ci, nous n'avons relevé que trois communications portant sur l'électricité, et dont nous rendrons compte ensuite.

Un rapport sur la question mise à l'étude lors du congrès de Bordeaux avait été distribué à tous les membres de l'Association et à ceux que la question pouvait intéresser. Nous n'en parlerons pas ici, l'*Éclairage Électrique* l'ayant publié in-extenso (1).

Ce rapport a provoqué des communications de deux espèces. Deux d'entre elles sont des mises au point pratiques de travaux épars dans divers recueils, faites par les auteurs eux-mêmes. Les autres sont des études nouvelles et originales.

Les deux premières communications sont de M. Charpentier et de MM. Macé de Lépinay et Nicati. Nous ne saurions trop insister sur les remercîments que doivent tous ceux qui s'occupent de photomètrie à ces maîtres de l'optique physiologique, qui ont pris la peine de coordonner eux-mêmes tout ce qui a une portée pratique dans leurs travaux.

M. *Charpentier* a pris pour titre de son travail : « Influence de quelques conditions physiologiques en photométrie ».

M. Charpentier insiste tout d'abord sur ce fait que le mot photomètrie indique que l'on s'occupe de la mesure de l'énergie visible, faite en employant le plus complexe des instruments qu'elle impressionne l'œil, puis il entre dans le vif de son sujet, qui est l'étude de quelques-unes des propriétés importantes quoique bien peu connues, de cet instrument délicat.

La sensibilité différencielle simultanée est maxima au centre. La sensibilité différencielle successive est plus grande à la périphérie de la rétine.

Si nous nous adressons à une autre propriété de l'œil, celle du seuil de l'excitation, du minimum perceptible, c'est encore la périphérie de la rétine qui est la plus sensible. Ceci peut se voir en tenant l'œil fixe et en regardant un fond uniforme, tout en rendant intermittente l'action de la lumière au moyen d'un écran percé d'une fente. De la sorte, la fatigue n'a pas le temps de se produire et on voit une tache sombre correspondant au point de fixation. La fatigue est d'autant plus grande que la sensibilité est plus grande, et

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 148, 25 janvier 1896.

le phénomène principal est masqué par ce phénomène secondaire, quand on laisse la lumière agir pendant un temps appréciable.

La sensibilité chromatique est maxima au centre, si on prend des plages un peu étendues. Cependant si on emploie des plages assez petites on voit qu'il existe une zone centrale moins sensible que l'espace qui l'entoure.

Si on répète l'expérience précédente en regardant dans un spectroscope, on voit une tache sombre centrale d'autant plus grande que la couleur est plus réfrangible.

Quand une lumière colorée agit sur la rétine et qu'on fait croître son intensité à partir de zéro, on perçoit d'abord une simple sensation de gris, puis, pour une intensité plus forte une sensation colorée. L'intervalle entre les deux sensations s'appelle intervalle photochromatique.

Trois faits découlent des expériences de M. Charpentier :

1° L'intervalle photochromatique en un point donné de la rétine augmente avec la réfrangibilité.

2° Il augmente quand la saturation de la couleur diminue.

3° Il augmente du centre à la périphérie de la rétine.

L'auteur relie ensuite à ces phénomènes celui de Purkinje sur lequel il a fait une étude approfondie. Il donne les courbes qu'il a obtenues pour la sensation en fonction de l'excitation dans les diverses couleurs, et ces courbes donnent l'explication très nette du phénomène de Purkinje.

Une autre condition importante à indiquer pour déterminer la sensibilité d'une comparaison photométrique est la dimension de la plage lumineuse qui varie. Tant que l'*image rétinienne* a un diamètre inférieur à 0,2 mm, l'éclairement apparent augmente proportionnellement à son étendue. Fait paradoxal en apparence et dont il faut tenir compte, surtout en lumière hétérochrome, la loi du phénomène n'étant pas la même pour les diverses couleurs. Par la diminution des plages, il se produit un phénomène analogue à celui de Purkinje, mais en sens inverse ; quand on diminue la plage, le rouge prédomine. Si on prend deux plages de dimensions fixes et qu'on diminue les lumières, le phénomène de Purkinje se produit, même quand les plages sont petites, contrairement aux assertions de certains auteurs.

Quand on repose la rétine dans l'obscurité, la sensibilité différentielle varie énormément, le minimum perceptible pouvant être porté de 1 à 2 000. De là, l'importance considérable qu'a en photométrie la pratique qui consiste à fermer les yeux avant toute détermination, et à ne jamais prolonger une même observation plus de quelques secondes. Ceci est important surtout en lumière hétérochrome.

On a fondé des photomètres sur l'emploi de disques rotatifs interrompant la lumière pendant une fraction donnée du temps total. On ne peut admettre la proportionnalité de la sensation au temps d'admission de la lumière que quand chaque admission ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ de seconde.

M. Charpentier termine par une étude des photomètres sans étalon. Ceux-ci sont basés sur la production d'un certain phénomène physiologique limite : visibilité de petites plages limitées par des points ou cessation de la persistance des impressions sur la rétine, c'est à dire point où un disque rotatif à secteurs commence à papilloter. Tous ces photomètres sont très simples et d'un emploi très commode, mais il faut toujours les employer dans un état d'adaptation parfaitement déterminé ce qui est toujours fort difficile à définir.

Nous en avons assez dit pour inciter ceux que la photométrie intéresse à lire le Mémoire original, sans se laisser effrayer par l'allure très physiologique du commencement, celui-ci amenant l'auteur à terminer par des résultats pratiques très importants.

MM. *Macé de Lépinay* et *Nicati* ont présenté un Mémoire analogue à celui de M.

Charpentier. Ils ont discuté les diverses méthodes photométriques, et ils ont décrit en détail les leurs. Les auteurs commencent par montrer que le sens du mot photométrie n'est déterminé que si on opère en lumière monochromatique. Dans ce sens, l'emploi de l'œil, de la pile thermoélectrique, de la plaque photographique comme instrument d'égalisation, est indifférent. Mais si les lumières ne sont plus physiquement identiques, on ne sait plus exactement a priori ce que signifie le mot photométrie.

Cela tient à bien des causes :

1° Aux variations qui existent d'un œil à l'autre, qui sont indiscutables puisque en poussant les choses à l'extrême nous savons tous qu'il y a des daltoniens, qui ont des sensibilités chromatiques tout à fait différentes de la moyenne.

2° Aux diverses espèces de sensations qui peuvent être prises pour faire la comparaison. Si on prend comme terme de comparaison l'égale clarté ou l'égale acuité, on obtient des évaluations souvent très différentes. Si on prend comme terme de comparaison les seuils d'excitation relatifs aux deux teintes à comparer, on arrive à des résultats plus différents encore, et qui n'indiquent aucun rapport entre les propriétés utilisables des lumières à comparer quand elles ont une intensité suffisante.

3° A la variation de l'œil avec la fatigue.

4° Au phénomène de Purkinje.

5° A la variation de la sensation avec l'étendue des plages à comparer.

Cette discussion théorique étant faite, les auteurs donnent les résultats de leur expérience. Ils indiquent d'abord les résultats obtenus sur les yeux daltoniens, montrant que ceux-ci n'utilisent pas les diverses couleurs comme les yeux normaux, même au point de vue de l'acuité visuelle. Puis, ils indiquent la valeur du rapport qu'ils ont trouvé entre le coefficient d'égale clarté et le coefficient d'égale acuité pour les diverses couleurs simples. Ces coefficients sont définis par la proportion dans laquelle il faut augmenter l'intensité de la lumière qui éclaire la fente d'un spectroscope pour donner à la couleur observée la même clarté ou la même acuité qu'au jaune du même spectre. Le rapport des coefficients est alors indépendant de la composition de la lumière employée, il a donc une signification bien nette,

Suit la description d'une expérience qui montre nettement que la fatigue de l'œil est bien plus grande dans le rouge que dans le bleu et que le repos agit bien plus sur les perceptions relatives au rouge que sur celles qui sont relatives au bleu. Il faut donc avoir grand soin, pour peu que les lumières soient hétérochromes, de mettre l'œil dans un état bien déterminé, au point de vue de la fatigue.

Le phénomène de Purkinje ne se produit que pour la partie la plus réfrangible du spectre et plus pour l'acuité visuelle que pour la clarté.

Enfin, quand les images ont un angle apparent inférieur à 45′ le phénomène de Purkinje cesse de se produire.

Cette conclusion est contraire à celle de M. Charpentier.

Les auteurs insistent ensuite sur la difficulté d'avoir des objets convenables pour la comparaison des acuités visuelles et indiquent l'emploi de leur écran au sulfate de baryum.

Ils indiquent ensuite que le phénomène de Purkinje ne se présente pas sensiblement pour les sources de lumière usuelles, même pour la comparaison entre la lumière solaire et la lampe Carcel, puis ils passent à la description de leurs méthodes photométriques.

M. Nicati remarque que si on définit l'acuité visuelle physiologique par la relation $VS = 1 - 0,9 \log V$, où V est l'acuité visuelle ordinaire, l'éclairement est relié à VS par une relation logarithmique très exacte. Il s'appuie sur ce fait pour employer une échelle d'acuité convenable comme photomètre.

Enfin, M. Macé de Lépinay indique sa méthode basée sur le degré d'incandescence, et il publie pour la première fois les résultats expérimentaux qui vérifient sa formule. Celle-ci est la suivante :

Si on admet la loi de Becquerel $\frac{I}{R} = f\left(\frac{V}{R}\right)$ où I représente l'intensité visible totale d'une source, R celle de son rouge et V celle de son vert, on a en développant

$$\frac{I}{R} = 1 + A\left(\frac{V}{R} - 1\right) + B\left(\frac{V}{R} - 1\right),$$

et, avec ses cuves colorées, M. Macé de Lépinay a réduit cette formule à

$$\frac{R}{I} = 1 + 0,208\left(1 - \frac{V}{R}\right).$$

Les résultats nouveaux sont les suivants : 1° Le coefficient B, obtenu par la méthode des moindres carrés est négligeable vis-à-vis de A. Donc la formule à retenir jusqu'ici employée est justifiée expérimentalement.

2° On peut employer des dissolutions et des épaisseurs quelconques, des dissolutions de perchlorure de fer et de chlorure de nickel, pourvu que les deux plages soient amenées à avoir la même teinte, les résultats ne sont pas changés. Ce deuxième résultat est extrêmement important au point de vue pratique.

Les deux mémoires que nous venons de résumer contiennent tous deux des points de vue très instructifs et très originaux sur le rôle de l'œil en photométrie, et leur lecture sera certainement très profitable, surtout si on lit successivement ces deux mémoires qui font voir la question sous deux points de vue différents, et également intéressants.

M. *Crova* a envoyé une note : « Sur les étalons de lumière ». Toutes choses égales d'ailleurs pour un bec donné, la quantité de lumière émise est fonction de la masse de combustible brûlée dans l'unité de temps. Celle-ci étant d'abord très faible, la flamme très petite, l'excès d'oxygène par rapport au combustible produit deux effets simultanés. La quantité de lumière émise est proportionnellement très faible, la flamme tendant à brûler bleu, et la température de la flamme est très élevée ; son degré d'incandescence est supérieur à sa valeur normale.

La masse du combustible brûlé dans l'unité de temps augmentant, la quantité de lumière rapportée à l'unité de masse du combustible brûlé augmente, et le degré d'incandescence diminue.

Si la masse brûlée augmente au delà d'une certaine limite, la quantité relative de lumière diminue le degré d'incandescence également, et la flamme tend à devenir rougeâtre et même fuligineuse. Entre ces deux extrêmes, il existe pour un bec donné une certaine consommation pour laquelle le degré d'incandescence et la quantité relative de lumière demeurent constants ; l'expérience indique ce régime qui correspond à la tangente horizontale de la courbe de lumière relative à 1 gramme en fonction de la consommation. La courbe du degré d'incandescence a aussi en ce point une tangente horizontale, mais d'inflexion.

Il faut employer toute la flamme à cause des variations d'éclat d'un point à l'autre.

Il faut aussi que la flamme ne soit pas trop volumineuse.

La condition à remplir est que la différence d'action entre deux surfaces égales aux points extrêmes ne dépasse pas 0,01.

Il faut employer des étalons satisfaisant aux trois conditions étudiées, si on veut éliminer complètement divergences considérables dans les mesures photométriques.

M. *Blondel* étudie « les principes de la photométrie géométrique ». L'auteur propose d'appeler photométrie géométrique cette partie de l'optique qui permet d'étudier par le calcul dans certains cas définis les effets produits par une source de lumière, soit directement soit par l'intermédiaire d'appareils optiques agissant par réfraction ou par réflexion.

Les bases de cette petite science spéciale ont été jusqu'ici presque toujours confondus à tort avec celles de l'optique géométrique, et il en résulte de nombreuses erreurs, dont la plus intéressante au point de vue théorique est l'énoncé absolument inexact du théorème de Gergonne, qui a trompé beaucoup de sa-

vants ; la plus importante au point de vue pratique est celle qu'on commet en prenant la distance d'un étalon à partir de son centre.

Toutes ces erreurs proviennent de la considération tout à fait erronée de sources punctiformes, alors qu'on n'a jamais dans la pratique que des *volumes lumineux* ou des *surfaces lumineuses*.

L'auteur indique d'abord comment on doit définir l'éclat intrinsèque d'une source dans une direction donnée, puis il examine la répartition des lignes de flux lumineux, et montre que la définition de l'intensité lumineuse d'une source n'est possible qu'à grande distance.

Il examine ensuite le cas des *surfaces lumineuses,* et indique la conservation de l'éclat apparent à toute distance.

Passant à l'étude des instruments d'optique, il montre que l'éclairement d'une image diffère essentiellement de son éclat et qu'il faut se garder de le confondre. L'éclat est indépendant de l'ouverture de la lentille, l'éclairement lui est proportionnel. Il établit à l'aide du théorème de Sturm un théorème général applicable à tous les instruments d'optique, et qui exprime l'éclairement en fonction de l'éclat de la source.

M. *Blondel* présente un autre travail « sur le rendement lumineux de l'arc électrique »

L'auteur s'est proposé de déterminer avec le lumenmètre la façon dont le flux lumineux total produit par l'arc électrique varie en fonction des divers éléments caractéristiques de l'arc : intensité du courant, voltage, diamètre et nature des crayons.

A cet effet il a organisé avec le concours de MM. Laporte Coster et Jigouzo, au Laboratoire central d'Électricité, une longue série d'observations dans laquelle on a fait varier successivement les divers éléments.

Jusqu'ici les résultats ont fourni trois séries de courbes : une pour 10 ampères, une pour 8 ampères, et une pour 6 ampères.

Dans chaque série on a tracé une courbe spéciale pour chaque valeur du diamètre en portant en abscisse le voltage et en ordonnée les flux lumineux.

Le rendement varie avec le diamètre du simple au triple quelquefois.

Une autre série d'expériences a été faite pour mettre en évidence la loi de variation du flux lumineux en fonction de l'intensité de courant pour une même paire de crayons. La fonction obtenue est parabolique, ce qui confirme les résultats de la Commission d'expériences de l'exposition d'Anvers. Enfin les crayons tendres donnent, à égale dépense, plus de lumière que les durs.

Ces expériences n'ont été possibles que par l'emploi des lumenmètres, qui a permis de mesurer en une seule fois le flux total. Chaque valeur du flux pour un régime donné résulte de la moyenne d'une vingtaine de lectures.

Les régulateurs employés étaient ceux de M. Bardou et les charbons venaient de la Société de Nanterre. Les uns et les autres ont fourni une fixité assez grande pour faire des mesures précises.

(A suivre). A. Broca.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (¹)

Le fonctionnement de l'horloge électrique de Wiesner et Witzel, représentée par les figures 1 à 7 est le suivant. En marche normale le pendule B entraîne avec lui les leviers *b b*, dont les cliquets D D' font, à chaque oscillation du pendule, avancer d'un cran (fig. 3) les roues premières E et E' du mécanisme d'horlogerie, de manière, qu'à la fin de ce mouvement, le taquet *h* du levier H, pivoté en *i*, reste sur le bout d'une dent de E. Si l'oscillation du pendule vient à diminuer de manière à ne faire plus pivoter E que d'une demi dent, *h* (fig. 1) retombant dans le creux de la dent laisse le levier H libre de descendre et de fermer en *m* le circuit de rappel du pendule, pourvu que son second taquet H' soit

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 16 mai 1896, p. 291.

non sur la partie pleine mais sur une des quatre encoches creuses *g* de la roue G. Comme les encoches *g* sont disposées de manière à ne se présenter sous *h*' qu'au retour du pendule, de gauche à droite en figure 2, il en résulte qu'elles ne laissent le contact *m* se fermer que si, à ce moment, *h* est bien au bas d'une dent de E. Des rochets F F', à cliquets *ff*', calés sur les arbres O et O' des roues E et E' empêchent leur recul.

Dans la disposition plus simple représentée en figure 6 la roue E² est commandée par l'arc-boutement D² du levier R, entraîné par le pendule et pourvu d'une encoche S, disposée contre la roue G. En marche normale, *h* repose, à la fin des oscillations, sur le talon des encoches *g*, qu'il quitte si les oscillations du pendule diminuent, de sorte que H' tombe et ferme son contact, pourvu que l'encoche *s* de S passe sous *h* en même temps que *g*. Ce contact ne dure, comme on le voit, que très peu,

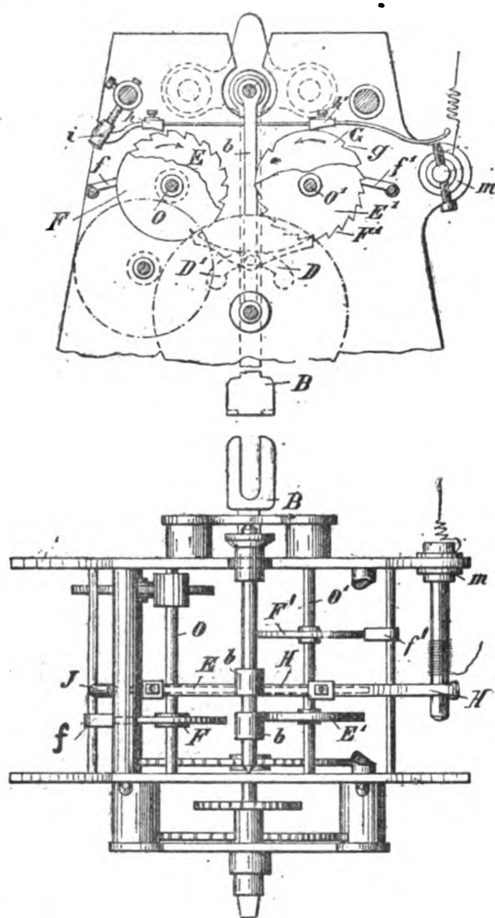


Fig. 1 et 2. — Horloge électrique *Wiesner* et *Witzel* (1896).

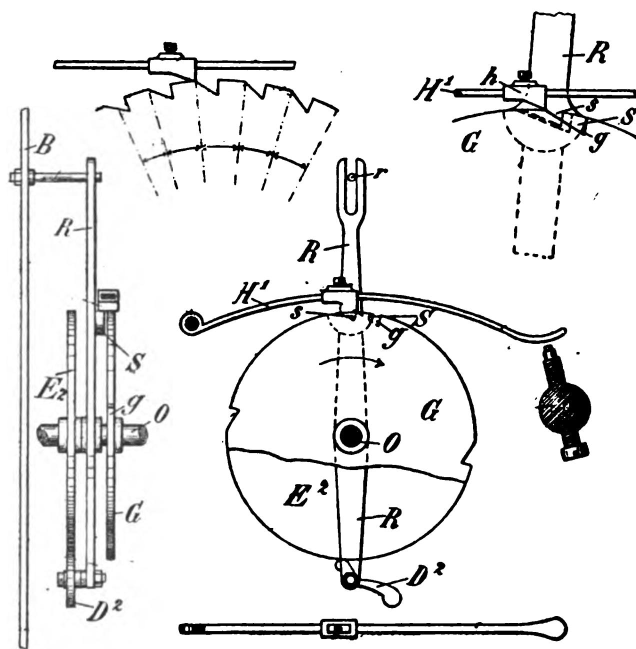


Fig. 3 à 7. — Horloge électrique *Wiesner* et *Witzel*

de sorte que ce dispositif convient tout particulièrement aux horloges alimentées par des courants puissants.

Le commutateur automatique de M. *Fitz Mance* représenté par la figure 8 a pour objet de permettre la commutation ou la suppression automatique d'un courant à un moment déterminée. Dans la position figurée, avec la fiche Q de gauche enfoncée dans le trou correspondant à 9 heures et le levier G posé sur les contacts K de droite, dès que les aiguilles du cadran seront sur 9 heures, elles fermeront le circuit du solénoïde O, qui, attirant G l'amènera sur les contacts K de gauche et commutera ainsi le courant. Quand les aiguilles passeront sur cinq heures, ce sera au contraire la fiche P' qui fera, par O' commuter le courant en sens inverse de K sur K'.

Le fonctionnement de la *mise en feu électrique* pour canons à tir rapide de MM. *E. W. Lloyd* et *R. T. Brankston*, adoptée par la Maison Armstrong est (fig. 1 à 12) remarquable par sa sûreté et sa simplicité, ainsi que par la facilité de son démontage pour l'examen des contacts, etc. La mise en feu s'opère par la pression qu'exerce la gachette H H' sur l'extrémité garnie de cuir G' du ressort G, qui ferme ainsi en E le circuit F F de la mise en feu. Le pistolet A est fermé par un couvercle B, à joues latérales B' B², emboîtant les projectons A' A² de A, et à prise B³, pour le couvercle C, maintenu par une vis C'. Le bloc isolant D, avec semelle en métal de contacts E E, repose sur les talons A³ A³, et est maintenu par les talons A⁴ A⁴.

Dans la manœuvre électrique des aiguilles de chemins de fer de *Siemens* et *Halske*, les différentes prises de l'appareil de manœuvre occupent au repos les positions en figure 13. Le balai v^2, séparé du collecteur de la dynamo-motrice, coupe de son circuit le fil l', relié par a au pôle positif de la pile, dont le négatif est relié à l^2 par la dynamo et son balai v^1. Il en résulte que le courant passe dans l'électro-aimant c, en dérivation sur l' l^2, et qui attire son armature c', intercallant ainsi par $c\,h$, dans le circuit de retour l', la résistance W. Il en résulte que le courant passe dans la dynamo avec une intensité trop faible pour la faire tourner, mais en indiquant, par son passage même, le bon état des appareils en ordre de fonctionnement.

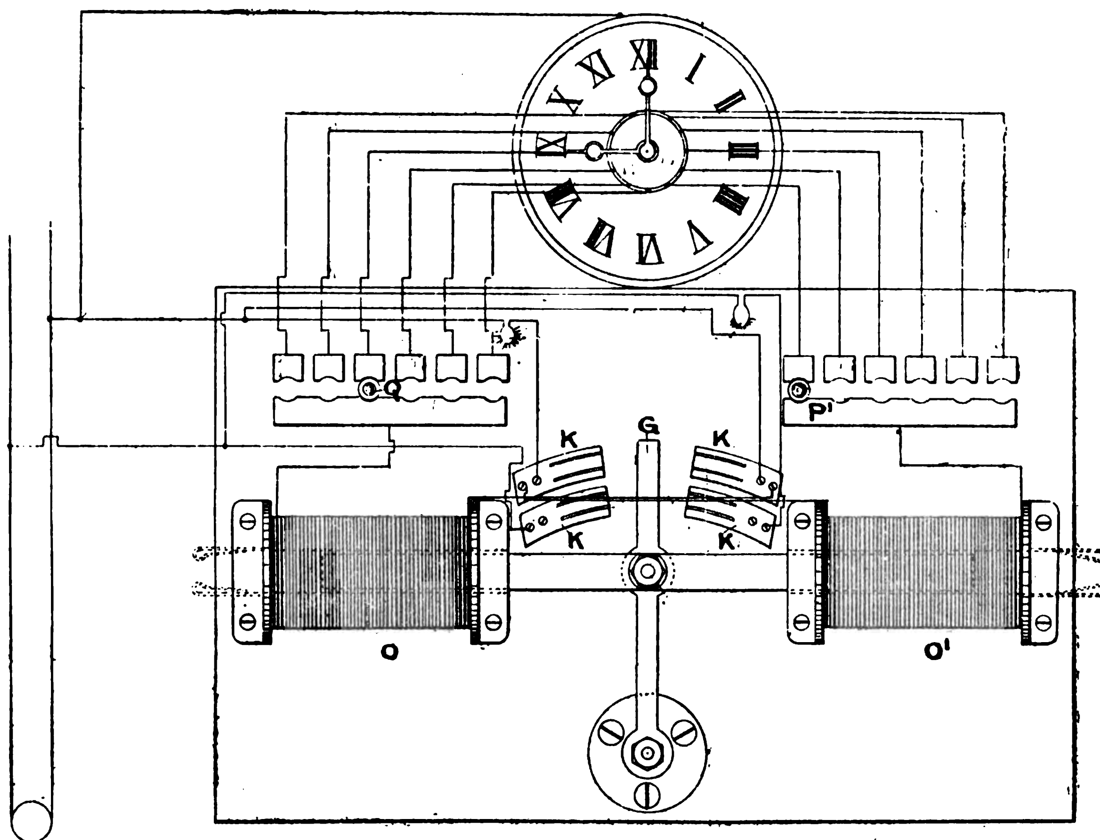


Fig. 8. — Commutateur automatique *Mance* (1895).

Ainsi que le montre le schéma fig. 16, chaque armature de l'électro-indicateur C' porte un prolongement b, empêchant la manœuvre du commutateur a tant que c, nest pas attiré; c'est ce qui a lieu pendant le fonctionnement du moteur, comme en figure 14, de sorte que a

ne peut être déplacé avant la fin de la manœuvre de l'aiguille.

Quand on renverse *a* de la position figure 13 à celle figure 14, il repousse *c*, de manière à supprimer les résistances W du circuit, et, par *h*, à décoller C^1 de C; et, comme ce mouvement de *a* ne peut s'opérer que si c^1 est attiré, on voit que le courant ne peut jamais passer à contre-temps dans le moteur.

Comme la marche du commutateur *a* et toute la sécurité de l'appareil dépendent en somme du fonctionnement de l'électroaimant C, il faut absolument l'empêcher d'agir à contre-temps, ce qui aurait lieu s'il y avait par exemple des fuites aux circuits l^1 l^2, comme en P P (fig. 15) permettant au circuit de la pile de se fermer sur C sans traverser la dynamo. On évite ce danger en reliant le pôle positi

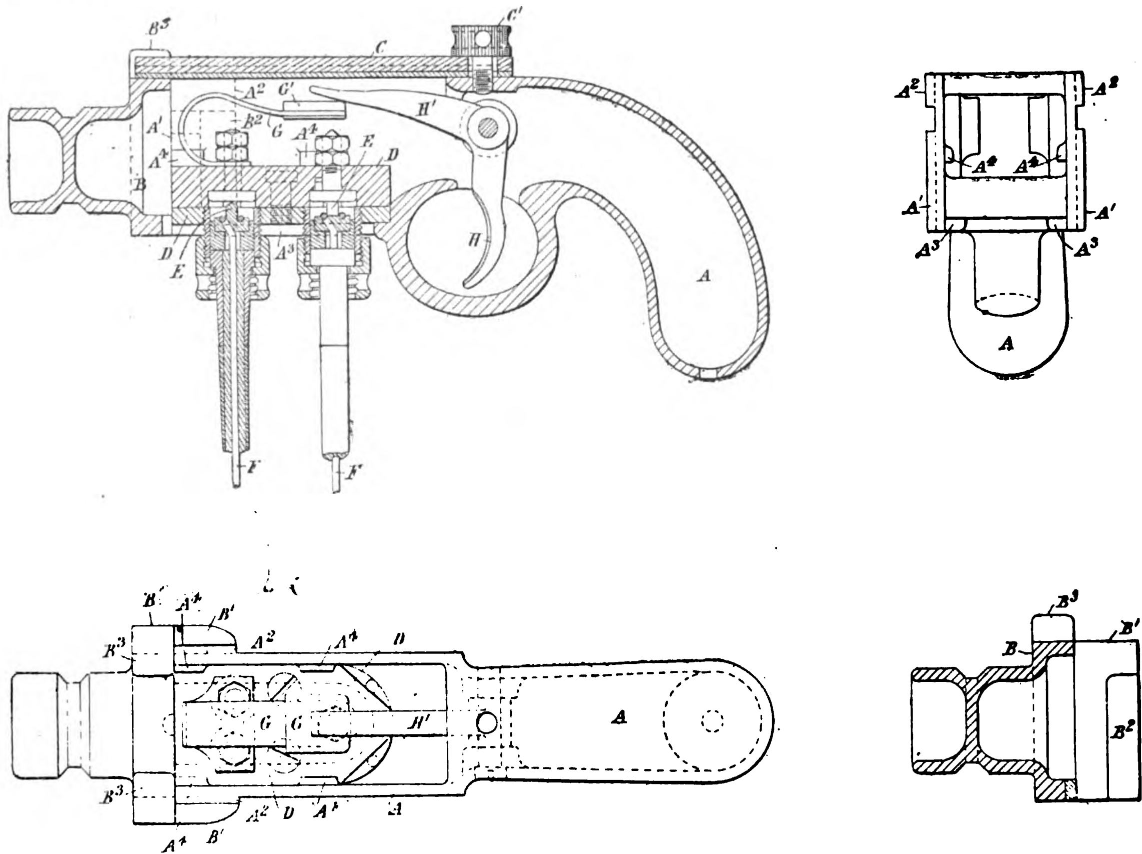


Fig. 9 à 12. — Mise en feu pour canons à tir rapide *Lloyd* et *Brankston* (1895).

de la pile à la terre, en intercalant après W, dans le circuit, des galvanomètres qui en indiquent les fuites, et enfin par l'addition, sur l^3, d'un second commutateur N, relié à l'appareil de manière à en rompre le circuit à chaque manœuvre irrégulière de *a*. On peut, en outre, relier tous les indicateurs d'un poste central au circuit d'une cloche *g* (fig. 16) qui sonne ainsi tant que l'un des avertisseurs *c* reste ouvert.

La perforatrice électrique de MM. *Scott* et *Keymer* est actionnée (fig. 17) très simplement, de la dynamo M, par la manivelle L et le piston K qui commande celui I de la perforatrice par un matelas d'air sans cesse renouvelé au travers du trou d'aspiration c^2.

On a souvent proposé d'allumer les lampes de mineurs par l'électricité sans les ouvrir et par conséquent en pleine sécurité. Le dispositif adopté à cet effet par MM. *Ackroyd* et *Best* est remarquable par sa simplicité. La lampe, glissée sur le socle isolant M, (fig. 18) ferme

en P par sa moulure, et en N par sa tige *b*, le circuit X *w* d'une bobine d'induction F, à interrupteur J, condensateur H, et pile E, de manière qu'il suffira de fermer ensuite le commutateur R pour faire jaillir en *f* une étincelle qui allume la mèche *h* (fig. 19.).

La manœuvre électrique pour becs de gaz de *Jahnsson* représentée par les figures 20 à 22. fonctionne comme il suit. Quand la prise de gaz *d* est fermée, son bras *y* repose dans un fond *i* du rochet fixe *z'* : quand on fait passer le courant dans l'électro-aimant *g*, la tige *d*, magnétisée, attirée par le fer *b*, est soulevée, et son bras *y*, frappant les dents *l* du rochet *r*, fait en même temps tourner *d*, de sorte que, lorsqu'on interrompt ensuite le courant, le bras *y* retombe non pas en *i* mais dans les creux moins profonds *k* de *z'*, et maintient *d*

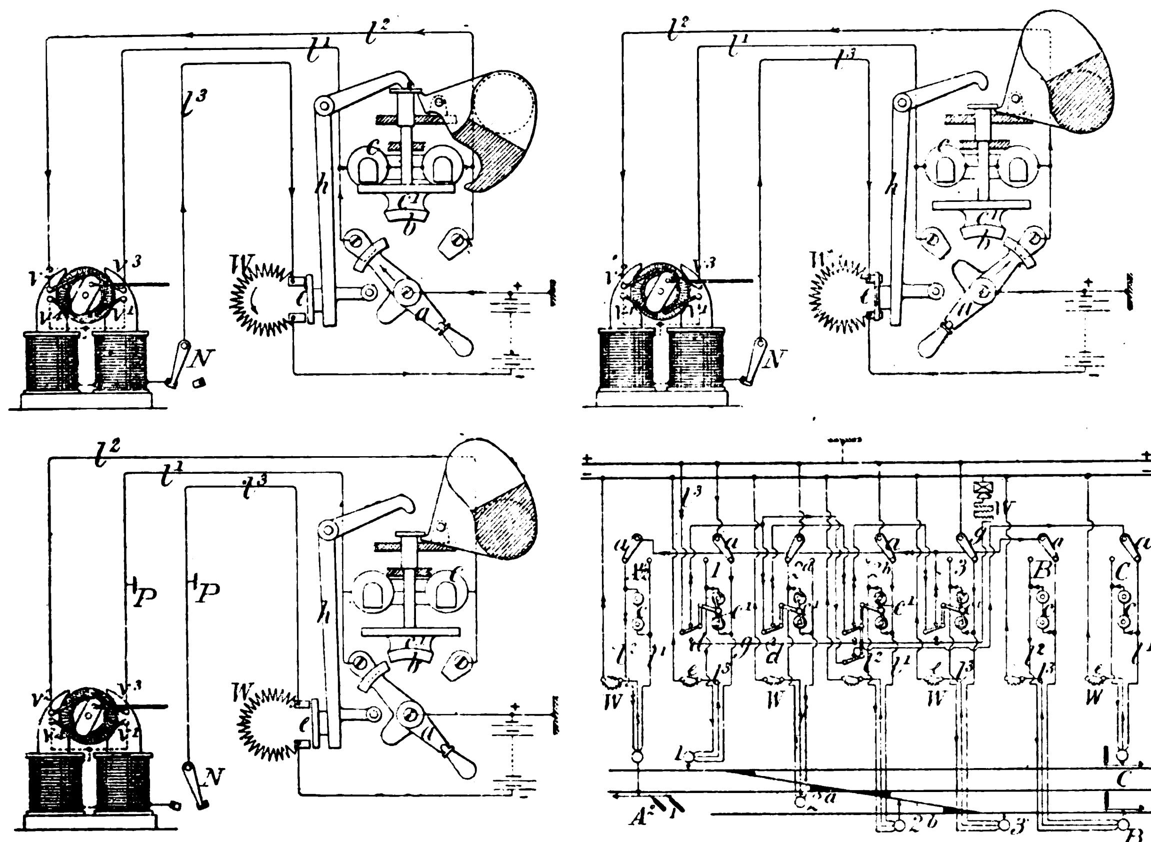


Fig. 13 à 16. — Manœuvre électrique des signaux, *Siemens* et *Halske* (1895).

ouvert. Il faut, pour le fermer, lancer de nouveau le courant en *g*, ce qui imprime à *d* une rotation telle que *y*, revienne, à sa retombée, en *i*, au point le plus bas de sa course. En même temps qu'il s'ouvre, le bec de gaz est allumé par un dispositif électrique quelconque, dont *d* ferme le circuit.

La figure 23 représente l'un de ces allumeurs, du à MM. *Grier* et *Hottle* et spécialement adapté aux becs Auer. L'étincelle jaillit en *d'* quand l'électro-aimant D, attirant son armature *d*. rompt en ce point le contact de la tige *f* avec la garde métallique *e'*, dont l'utilisation comme contact est l'une des caractéristiques de cette disposition, grâce à laquelle il suffit, pour installer cet allumage, de remplacer le verre ordinaire par un verre pourvu de l'électro-aimant D.

L'appareil de M. *W. Sears* représenté par les figures 24 à 26 a pour objet de faire alter-

nativement passer devant un regard V′ des images disposées sur un papier V, déroulé par une dynamo A.

Au départ, les pièces occupant les positions indiquées en figure 24. cette dynamo a remonté, par B^7 H H′ et le rochet H^1, le train

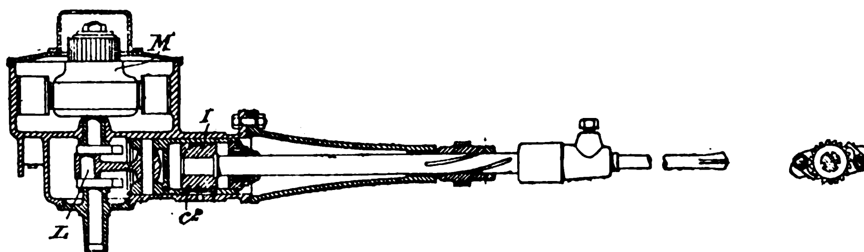


Fig. 17.— Perforatrice électrique, *Scott* et *Keymer* (1895).

d'horlogerie K, puis, à la fin de la descente du levier H^2, H^6, appuyant sur H^7, déclanche H^1 de K, de manière que le train d'horlogerie se met à tourner et rompt, par sa roue K^8 (fig. 26), en K^1, le circuit de la dynamo qui s'arrête, mais, grâce à son inertie, pas avant

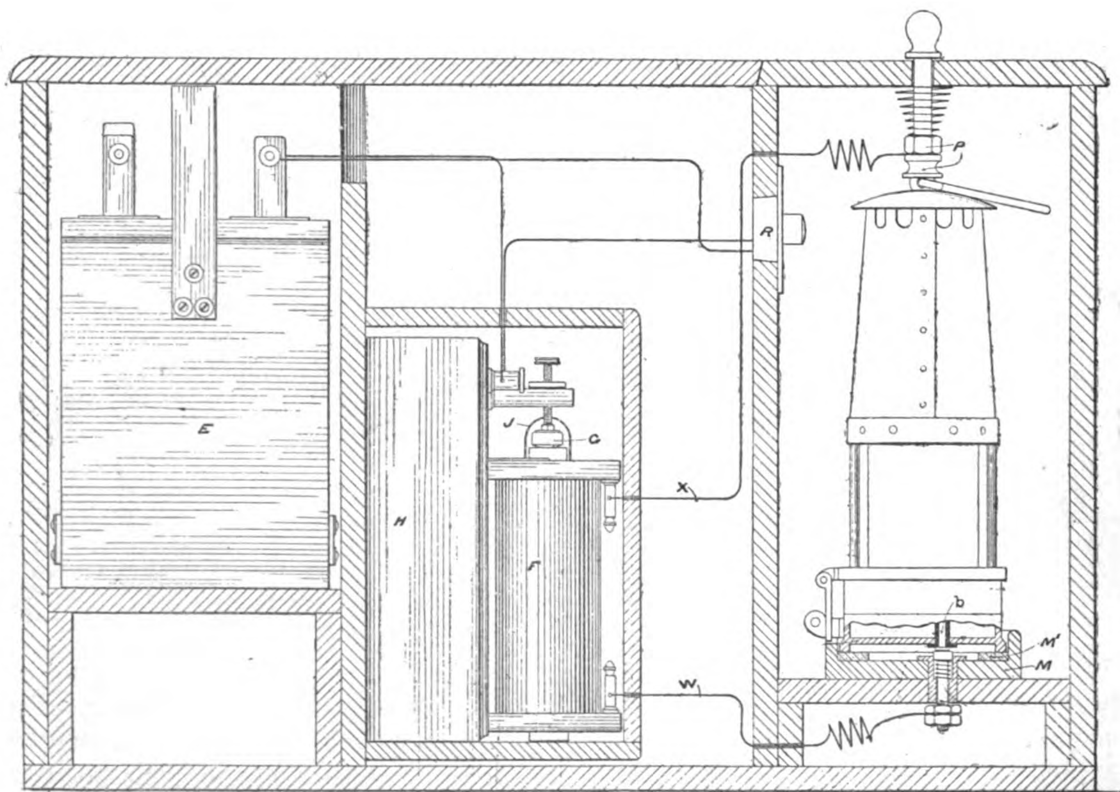


Fig. 18.— Allumeur pour lampes de mines *Ackroyd* et *Best* (1895).

d'avoir fermé par B C (fig. 25) le contact $C^2 C^1$ et, par K^2, le contact K^1 K^6, ce qui ferme le circuit de l'inducteur A′ seul.

Après un tour de K^2, le mouvement d'horlogerie s'arrête, par la butée du bras K^9 sur K^{10}, dans la position primitive, où K^2, rompt le contact K^1 K^6 et referme en K^{11} le circuit complet du moteur, qui repart, fait repasser en V une nouvelle vue, et ainsi de suite, jusqu'à la fin du rouleau.

A ce moment, le mécanisme suivant fait pivoter le commutateur N qui, renversant la

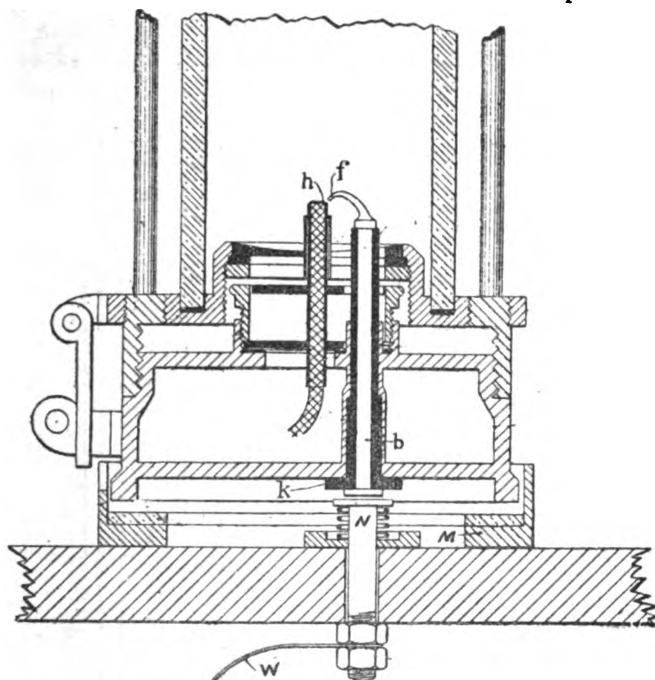


Fig. 19. Allumeur *Ackroyd* et *Best*, détail de l'allumage.

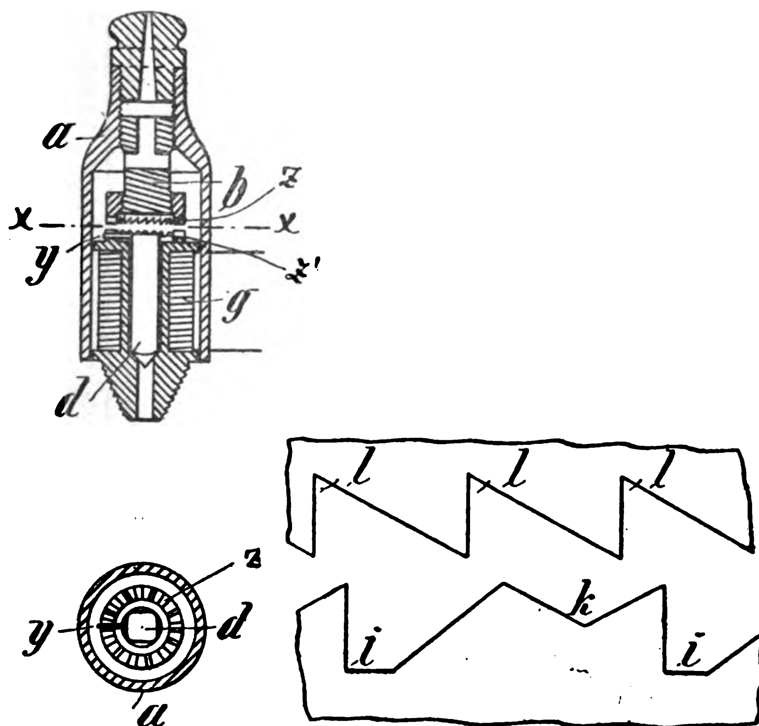
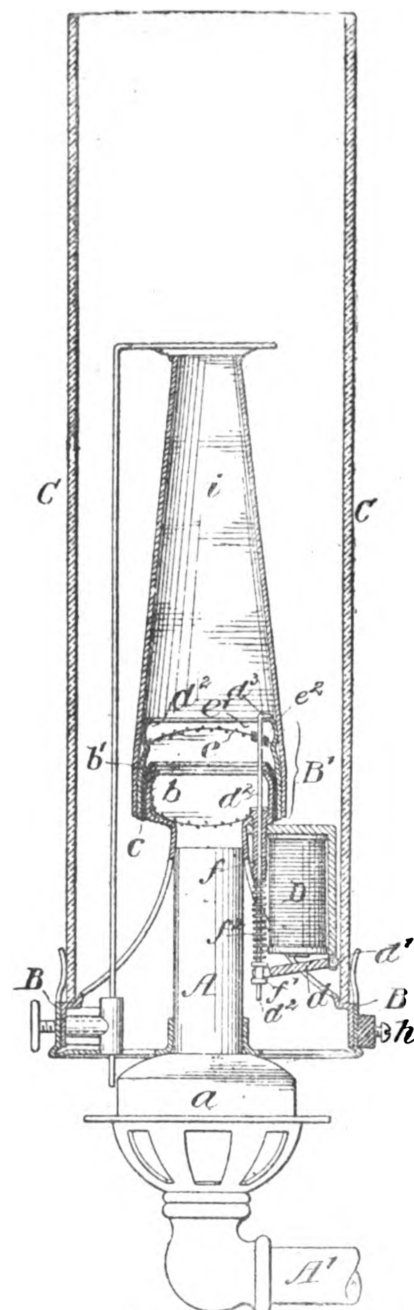


Fig. 20 à 22. — Allumeur pour bec de gaz, *Jhanson* (1895).



Fi. 23. — Allumeur *Grier* et *Hottle* (1895).

marche de la dynamo, ramène V' à sa position primitive, avec la première image en face de V'. L'organe principal du mécanisme de commutation est un levier B^6 qui, à chaque

tour de la roue B^3, repoussé par B^5, laisse le levier E^3 retomber sur le taquet K^7 de la roue K^8, commandée par le mouvement d'horlogerie, puis à chaque tour de K^4, K^7 laisse retomber E^1 d'une course limitée par la butée de E sur D^2, suffisante pour faire, par P, tourner d'un cran le commutateur. Après cela, la came D' relève E^2, qui retombe sur B^6, rappelé par le ressort B^9, puis à un nouveau passage de B^9, sur K^8, et fait, de nouveau, avancer le commutateur d'un cran, et ainsi de suite de manière que, cran par cran, la commutation soit opérée juste à la fin du passage des vues.

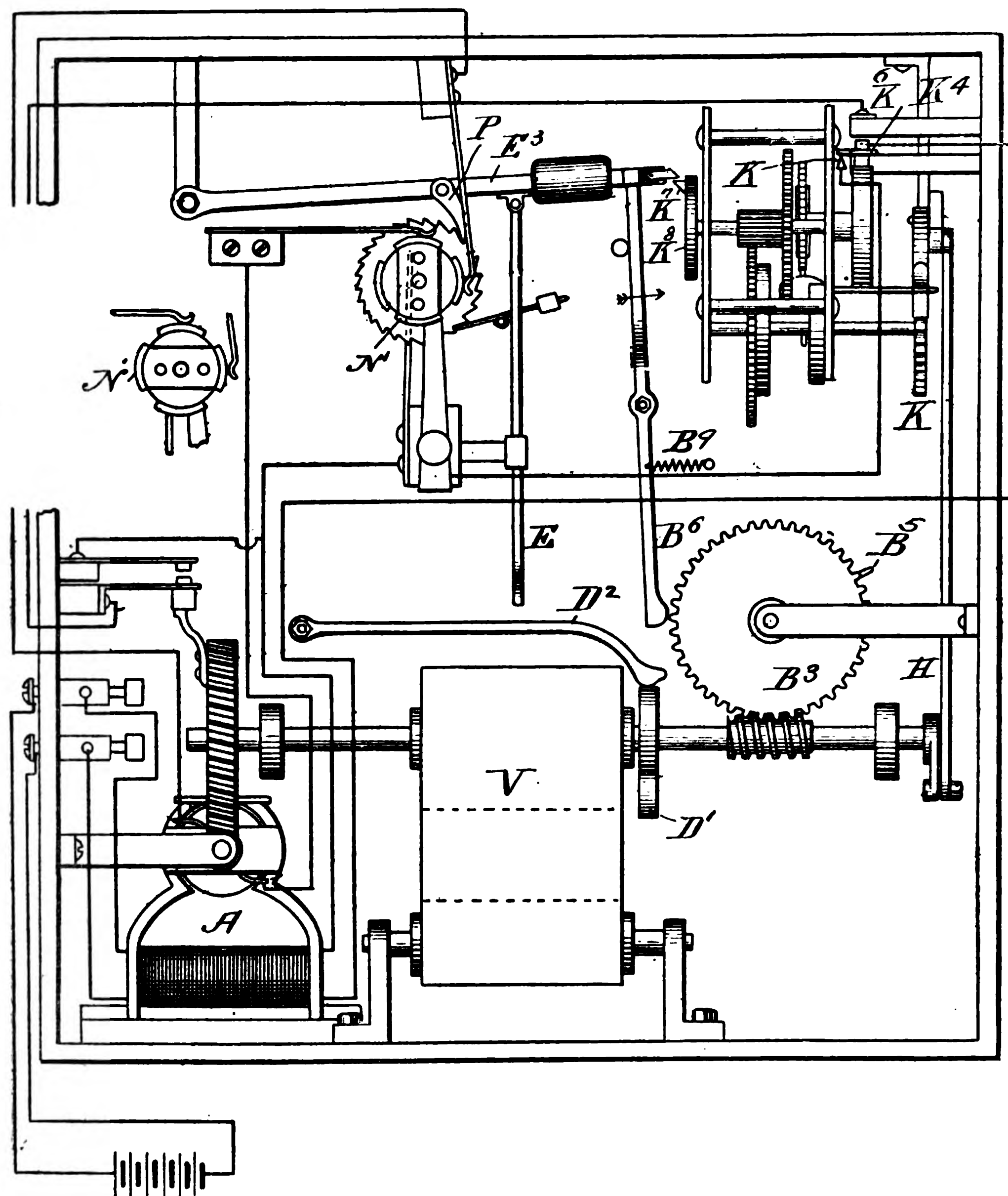


Fig. 24. — Montreur *Sears* (1895), schéma des circuits.

On sait que certaines machines-outils a marche discontinue sont, de ce fait, soumises à des variations périodiques de puissance extrêmement considérables, telles sont par

exemple les raboteuses au moment des renversements de la marche de leur table [1]; les diagrammes figure 27 relevés sur une dynamo commandant une raboteuse sont des plus instructifs. La dynamo était du type Crooker Wheeler de 25 chevaux, montée en dérivation ; elle commandait une raboteuse à table

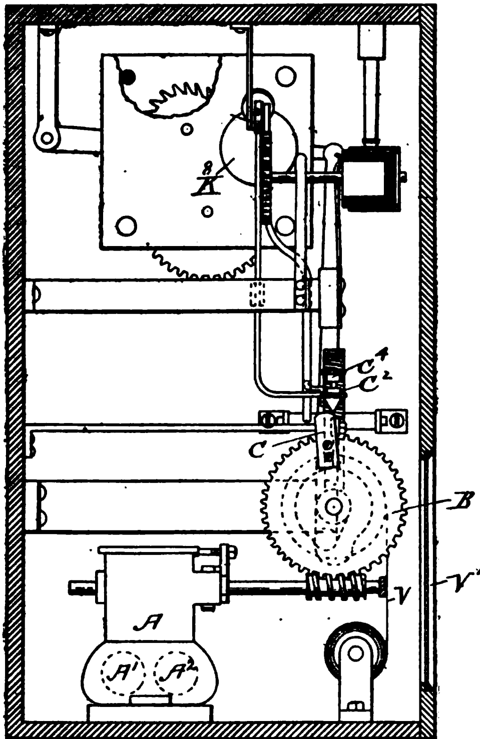


Fig. 25. — Montreur *Shears*.

de 3 m de côté. Ainsi que l'indique le diagramme A, correspondant à la marche sans coupe, avec la table portant une charge de 19 500 kil, à la fin de la course d'aller, au renversement *b*, le courant passe brusquement de 71 à 308 ampères, puis retombe à 130 ampères pendant le retour *c a*, plus rapide que l'aller ; après un second rejet *d*, moins élevé que le précédent, au second renversement de la table, le courant revient, pendant sa 2e course d'aller, à sa valeur primitive. Il va sans dire que de pareils accès fatiguaient beaucoup la dynamo et se manifestaient par de fortes étincelles aux balais.

On tenta tout d'abord d'y remédier par l'addition d'un volant sur la transmission intermédiaire, que la dynamo commandait par courroie ; ainsi que l'indique le diagramme B, cette addition fit tomber le premier rejet *b*

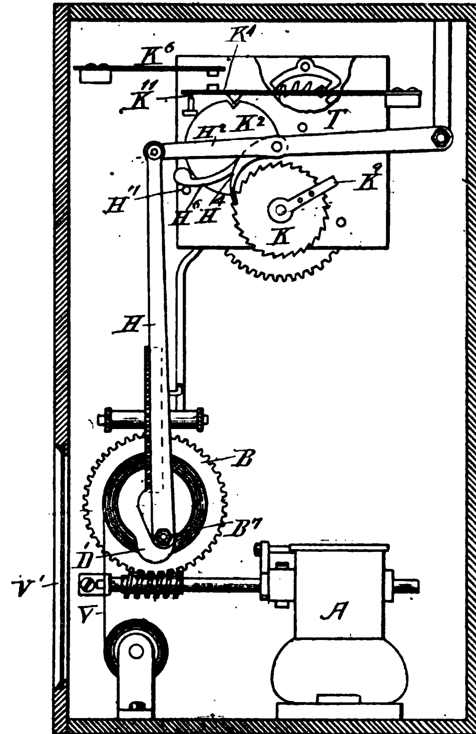


Fig. 26. — Montreur *Shears*.

à 232 ampères au lieu de 308 — mais avec 5 500 kil au lieu de 19 500 sur la table, fait qui, soit dit en passant, caractérise bien la répugnance qu'ont beaucoup de praticiens américains pour les expériences comparables — pendant la course active ou de coupe, on dépensait 40 ampères au lieu des 71 nécessaires pour traîner simplement les 19 500 k de l'essai précédent

Le diagramme C représente le travail de la raboteuse avec la même charge, et la comparaison de ces diagrammes indique bien le faible rendement utile de ces grandes raboteuses, la raison d'être économique de leur remplacement

[1] *Éclairage Électrique*, 4 avril 1896, p. 15.

par des machines à tables fixes ou par des fraiseuses. On dépensait, avec la coupe, 40 ampères et sans coupe ou à vide 36 ampères : rendement à peine 10 °/₀ pour la course active seulement, sans compter les pertes du retour à vide. L'action du volant qui ne ménage la dynamo

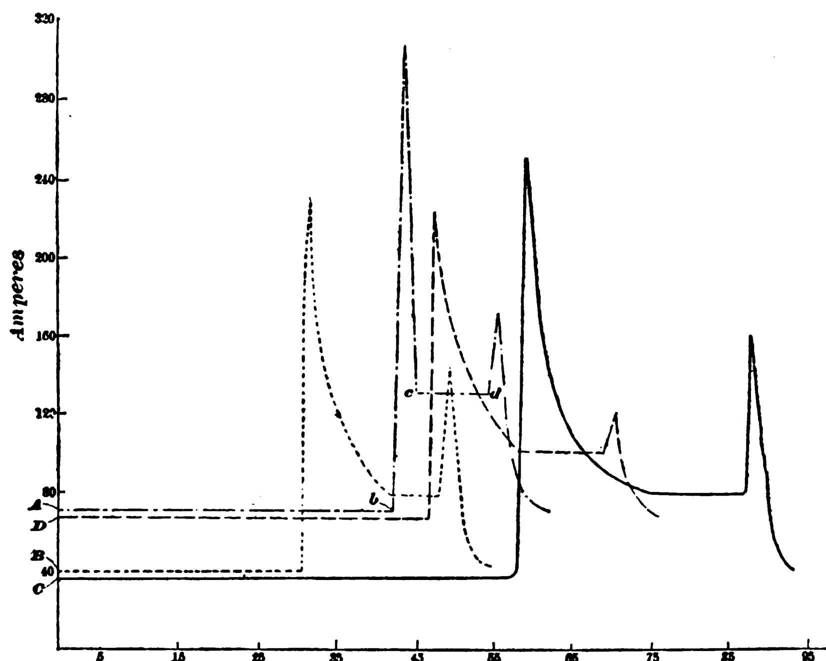


Fig. 27.

qu'aux dépens du mécanisme, se montra insuffisante. On y remédia en remplaçant le montage en dérivation de la dynamo par un montage compound — série-dérivation — qui permit de lui donner le couple nécessaire pour les changements de marche sans augmenter le courant dans son armature autant qu'il le fallait avec le montage en dérivation, dans lequel l'intensité du champ restait à peu près invariable. Ainsi qu'on le voit par le diagramme D, ce changement eut pour effet d'abaisser le premier rejet *d* à 226 ampères, avec une charge de 26 tonnes sur la table, sans étincelles et sans forcer la dynamo. En outre, la vitesse du moteur se maintenait à peu près constante pendant toute la durée des courses, ce qui n'arrivait que rarement avec le montage en dérivation [1].

G. Richard.

[1] *American Machinist*, 14 mai 1896.

NOUVEAU SYSTÈME
DE
DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE DE L'ÉNERGIE
PAR COURANTS ALTERNATIFS

1. *But du système.* — La distribution électrique de l'énergie à l'aide de courants alternatifs peut être effectuée par systèmes monophasés ou par systèmes polyphasés. On a recours aux systèmes monophasés, qui demandent tout simplement l'emploi de deux conducteurs, quand l'énergie transmise doit être principalement utilisée à l'éclairage. On emploie au contraire, les systèmes polyphasés, diphasés ou triphasés, quoique ceux-ci demandent l'emploi au moins de trois conducteurs, lorsqu'il faut transformer la plus grande partie de l'énergie électrique en énergie mécanique. En effet, les moteurs électriques à champ magnétique tournant, que l'on

emploie alors, non seulement présentent pour le plus grand nombre des applications, tous les avantages des moteurs à courant continu, mais ils sont même préférables à ceux-ci, pour la grande simplicité de leur construction, et pour la sûreté absolue de leur fonctionnement.

Dans le cas intermédiaire où la quantité d'énergie qui est distribuée aux lampes et celle qui est distribuée aux moteurs, ont approximativement une égale importance, les deux systèmes présentent des inconvénients chacun en particulier. Dans le premier, c'est à dire dans le monophasé, en effet, les difficultés qu'offrent dans le démarrage, non seulement les moteurs synchrones, mais aussi les moteurs asynchrones ont une grande importance ; dans le second système, c'est à dire dans le polyphasé se présente le défaut assez grave de devoir compliquer inutilement même la partie de l'installation destinée à l'éclairage.

Le système que nous présentons ici résout le problème de la distribution précisément dans le cas intermédiaire. Il offre, en outre, d'une manière pratique, l'avantage d'alimenter des moteurs électriques au moyen des courants d'un réseau monophasé déjà existant, et initialement destiné à l'éclairage seulement.

Dans ce nouveau système, la distribution générale est faite à l'aide d'un courant alternatif simple, qui pourvoit, lui seul, à l'éclairage ; mais dans les régions où des moteurs doivent être employés, on tire de ce courant simple d'autres courants alternatifs, qui ont la tension voulue et sont convenablement déplacés de phase, de manière à constituer dans ces régions autant de systèmes de distribution polyphasés.

2. *Transformateur à décalage.* — Ce nouveau système de distribution repose sur l'emploi de *transformateurs à décalage.*

Nous donnons ce nom à des appareils qui, avec un courant primaire quelconque, produisent un autre courant secondaire, lequel tout en ayant la tension et l'intensité voulues, présente une différence de phase convenable relativement au courant secondaire qu'on aurait d'un transformateur ordinaire. Ces transformateurs à décalage ont, comme les transformateurs ordinaires, des bobines primaires et des bobines secondaires fixes ; mais ils ont en outre une partie intermédiaire tournante, dont le mouvement est maintenu comme celui de l'armature d'un moteur asynchrone monophasé. On pourra expliquer le principe de leur fonctionnement en considérant tout d'abord ce qui arrive dans un moteur à champ magnétique tournant, par exemple, dans un moteur diphasé.

Soit (fig 1) un moteur diphasé constitué

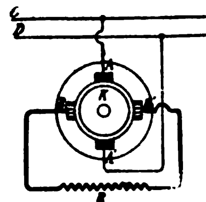


Fig. 1. — Transformateur à décalage.

par deux bobines AA' BB' croisées à angle droit et par une armature K fermée sur elle-même. Si l'on envoie en AA' et en BB' deux courants alternatifs, ayant l'un relativement à l'autre une différence de phase de 90°, l'armature K se met à tourner dans le sens de la rotation du champ magnétique, résultant de la superposition des deux courants.

Réciproquement, si pendant qu'un courant alternatif passe dans une des bobines, par exemple dans la bobine AA', on fait tourner l'armature K, il se produit dans les deux bobines AA' et BB' deux forces électromotrices alternatives entre lesquelles il y a une différence de phase d'un quart de période, et par conséquent, si les résistances ohmiques des deux bobines sont faibles, on a une différence de phase approximativement égale à 90°, même entre les différences de potentiel aux extrémités de AA' et de BB'. Si l'on proportionne le nombre des spires de la bobine BB' avec celui des spires de la bobine AA', on peut faire que les deux forces élec-

tromotrices aient entre elles le rapport que l'on désire.

De cette façon, l'appareil représente un véritable transformateur dont la bobine AA' est le primaire, et la bobine BB' le secondaire. Ce transformateur peut avoir, comme un transformateur ordinaire, le rapport de transformation que l'on désire ; mais il diffère d'un transformateur ordinaire, en ce que les phases de la force électromotrice, du voltage et du courant dans la bobine secondaire diffèrent d'un quart de période de celles que l'on aurait, à parité des autres conditions, dans la bobine secondaire du transformateur ordinaire. Pour maintenir dans l'armature la rotation nécessaire, il ne faut aucun appareil accessoire : en effet lorsqu'une vitesse convenable est imprimée, elle est maintenue par l'effet du courant alternatif même qui existe dans la bobine AA', comme dans les moteurs ordinaires asynchrones monophasés.

Dans les cas ordinaires, le transformateur à décalage sera inséré dans les circuits comme un transformateur ordinaire, c'est à dire la bobine primaire A A' sera insérée entre les conducteurs primaires C D à haute tension, tandis que la bobine secondaire B B' est insérée dans un circuit secondaire R à basse tension.

En combinant (fig. 2) le circuit secondaire R d'un transformateur à décalage T_f avec celui *r* d'un transformateur ordinaire T, on constitue un système diphasé à basse tension.

Et de cette manière un même réseau primaire à simple courant alternatif à haute tension, peut dans quelques régions alimenter des réseaux secondaires monophasés à basse tension pour l'éclairage, et dans d'autres régions alimenter des réseaux secondaires diphasés à basse tension pour la distribution de l'énergie à des moteurs électriques.

3. *Alimentation de systèmes diphasés.* — Soient C et D (fig. 3) les deux conducteurs primaires d'un réseau ordinaire à courant alternatif à haute tension ; T, T,... des transformateurs ordinaires à courant alternatif ; P et Q, P_1 et Q_1... les conducteurs secondaires destinés à la distribution du courant alternatif à basse tension engendré en **T**, **T**,... et **T_f** un transformateur à décalage, dont la bobine primaire A A' est insérée entre les mêmes conducteurs C et D à haute tension, entre lesquels sont insérées les bobines primaires *a a'*, *a a'*, ... des transformateurs ordinaires. Si l'on fait alors partir deux fils R et S des extrémités B et B' de la bobine secondaire B B' du transformateur à décalage **T_f**, celui-

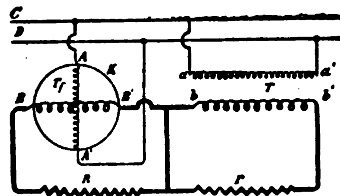


Fig. 2. — Combinaison d'un transformateur ordinaire et d'un transformateur à décalage réalisant un système diphasé à basse tension.

ci sert à produire, et les deux fils servent à porter un courant à basse tension décalé de phase dans les diverses zones où il faut pourvoir, outre à l'alimentation de lampes L, aussi au fonctionnement des moteurs M. On constitue à cet effet autant de systèmes diphasés à basse tension et à quatre fils, dont chacun est formé par les deux conducteurs P et Q, appartenant au circuit secondaire d un transformateur ordinaire quelconque, et par les deux conducteurs R et S, appartenant au circuit secondaire du transformateur à décalage.

Il est aussi possible d'imaginer des dispositions qui permettent d'obtenir les mêmes effets, et même plus simplement ; c'est à dire en reliant un seul conducteur, au lieu de deux au transformateur à décalage. Ces dispositions constituent un *système à trois fils avec deux forces électromotrices alternatives décalées de phase de 90°*, lequel diffère du système ordinaire à trois fils à courant alternatif, seulement en ce que les deux forces électromotrices alternatives, au lieu d'être engendrées dans les bobines secondaires de deux transformateurs ordinaires, sont au

contraire respectivement engendrées dans les bobines secondaires B B' et $b\,b'$ (fig. 4) d'un transformateur à décalage T_f et d'un transformateur ordinaire T, insérés avec leurs bobines primaires A A' et $a\,a$ entre les conducteurs C et D à haute tension.

La figure 5 représente le cas où le transformateur ordinaire T, et le transformateur à décalage T_f sont de la même puissance, et servent par le moyen des trois fils P, Q et R, à l'alimentation des moteurs électriques M, ou d'autres appareils demandant pour leur fonctionnement deux courants décalés de phase de 90°. La figure 6 représente au contraire le cas où le transformateur T, de puissance supérieure à celle du transformateur à décalage T_f, sert aussi à l'alimentation de lampes électriques L, ou d'autres appareils demandant pour leur fonctionnement un seul courant alternatif. En ce cas, il suffit de donner au fil R un diamètre proportionné au seul courant nécessaire pour les moteurs. Et même, si, en conduisant un seul fil du transformateur à décalage, on veut encore que celui-ci serve à produire, et celui-là à porter le courant à basse tension décalé de phase aux diverses stations des transformateurs ordinaires situées dans la zone à alimenter avec le système diphasé, on peut l'obtenir en unissant entre eux, à l'aide d'autant de tronçons S (fig. 7) de fil, ayant une section égale à celle du conducteur R, ou tous les conducteurs P, ou bien, comme dans le cas de la figure, tous les conducteurs Q, appartenant respectivement aux circuits secondaires des divers transformateurs ordinaires T distribués dans la zone à alimenter avec le système diphasé.

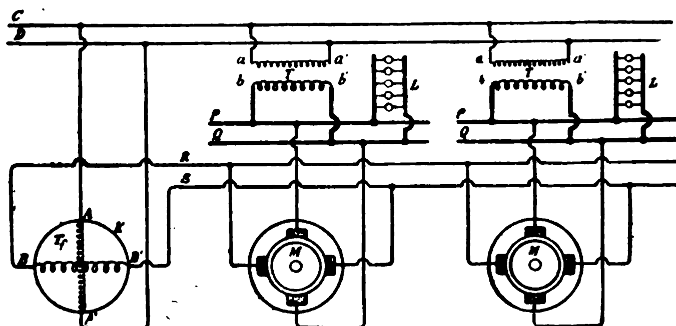


Fig. 3. — Alimentation d'un système diphasé à 4 fils.

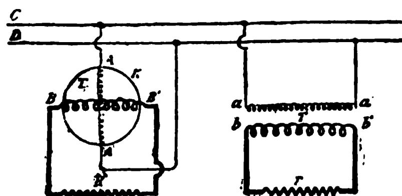


Fig. 4. — Alimentation d'un système diphasé à 3 fils.

En opérant ainsi, les mêmes effets obtenus par la disposition indiquée dans la figure 3, où deux fils partent du transformateur à décalage T_f, peuvent encore être obtenus moyennant un seul fil R conduit de T_f. Dans ce cas aussi, le transformateur à décalage peut servir à porter le courant à basse tension décalé de phase dans tout le réseau des circuits et ainsi à avoir, à n'importe quelle partie du réseau même, un système diphasé à basse tension et à trois fils, constitué par les deux conducteurs appartenant au circuit secondaire d'un transformateur ordinaire quelconque, et par le conducteur R appartenant au secondaire du transformateur à décalage.

4. *Alimentation de systèmes triphasés.* — Si dans la disposition à trois fils que l'on vient de décrire, on emploie un transformateur à décalage dans lequel le décalage de phase soit de 120 degrés, il s'en suit un système triphasé (fig. 8). En ce cas, en effet, la résultante des forces électromotrices dans les bobines secondaires $b\,b'$ et B B' des deux transformateurs T et T_f est égale aux composantes, et elle est déplacée de 60°, relativement à chacune de celles-ci.

En faisant l'insertion des moteurs dans ce système triphasé, il faut naturellement relier deux bobines avec la bobine qui reçoit le

courant des conducteurs P et R, de manière que la différence de phase entre ce courant et celui des deux autres bobines soit de 120°.

Et si, au lieu d'obtenir un système diphasé ou triphasé à basse tension d'un système monophasé à haute tension, en recourant au système ci-dessus à trois fils avec deux forces électromotrices décalées de phase de 90° ou de 120°, on veut, en général, obtenir un système polyphasé à basse tension, on n'a qu'à généraliser le système que l'on vient d'exposer, en recourant à un système à plusieurs fils avec diverses forces électromotrices convenablement décalées de phase l'une relativement à l'autre.

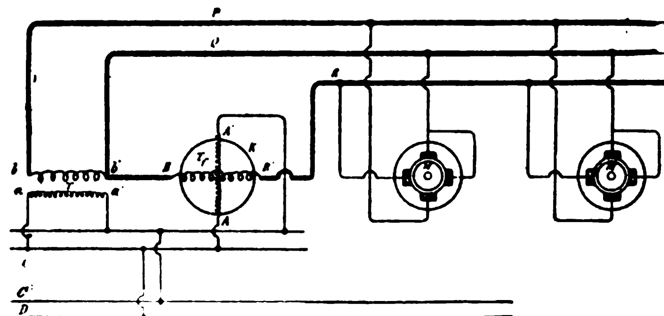


Fig. 5. — Alimentation d'un système diphasé à trois fils pour moteurs.

Enfin, on peut toujours avoir un système triphasé (fig. 9) moyennant les mêmes transformateurs T_f et T qui, comme on l'a déjà vu dans la disposition de la figure 6, servaient à obtenir un système diphasé. Dans ce but, il suffit : 1° de proportionner les deux transformateurs de manière que la force électromotrice de la bobine secondaire B B' de B_f soit égale à celle de la bobine secondaire *b b'* de T multipliée par $\sqrt{\frac{3}{2}}$; 2° de réunir l'extrémité B de B B' au point neutre O de *b b'*. De cette façon, les circuits secondaires sont comme dans le système de Scott, au moyen duquel on dérive un système triphasé d'un diphasé (¹).

Si (fig. 10) l'on réunit entre eux, à l'aide d'un conducteur N N qui n'a pas besoin d'être isolé de la terre, tous les points neutres O des bobines secondaires des transformateurs ordinaires T distribués dans les diverses zones à alimenter avec les systèmes triphasés, chacun de ceux-ci est constitué par le fil R qui part du transformateur à décalage, et les deux fils P et Q, constituant le circuit secondaire d'un transformateur ordinaire quelconque.

On peut aussi réunir en un seul les deux systèmes représentés par les figures 6 et 9. Il suffit pour cela (fig. 11) de proportionner les deux transformateurs de manière que la force électromotrice de B T' soit égale à celle de *b b'*, de prendre en B B' un point B'', tel que la force électromotrice en B B' soit égale à la force électromotrice en *b b* multipliée par $\sqrt{\frac{3}{2}}$ et de réunir deux transformateurs par l'intermédiaire de deux interrupteurs *h* et *h'*. Si l'on ferme *h*, on a en P Q R un système diphasé, si l'on ferme *h'*, on a un système triphasé. Cette disposition peut être avantageuse dans les usines, ou en général dans les laboratoires où il faut essayer tantôt des appareils diphasés, tantôt des appareils triphasés.

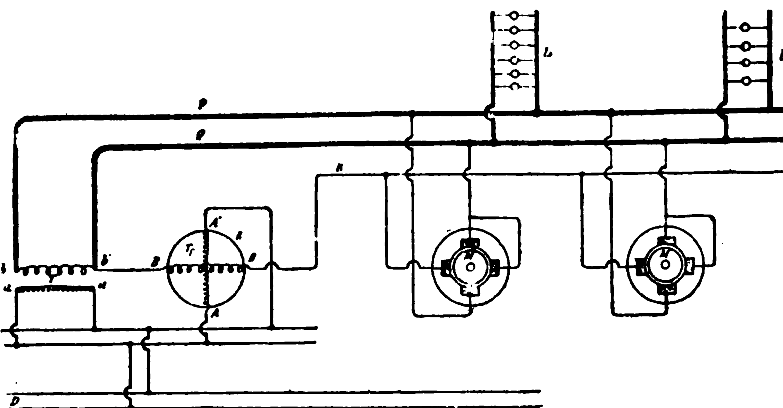


Fig. 6. — Alimentation d'un système diphasé à trois fils pour moteurs et lampes.

(¹) *Polyphase transmission. — The Electrical World* 24 mars 1894, p. 393.

5. — *Démarrage de moteurs asynchrones monophasés.* — Nous devons remarquer que les systèmes diphasés obtenus d'un système monophasé, au moyen de la combinaison d'un transformateur à décalage et d'un ou de plusieurs transformateurs ordinaires, diffèrent des systèmes diphasés ordinaires, obtenus à l'aide de machines génératrices diphasées, en ce que, tandis que dans ceux ci, les deux circuits servent simultanément pour l'alimentation de lampes et pour le fonctionnement de moteurs, ceux-là, au contraire, sont constitués par deux circuits, dont l'un est destiné autant à l'éclairage qu'à la distribution électrique de l'énergie mécanique, et l'autre est exclusivement destiné à cette dernière.

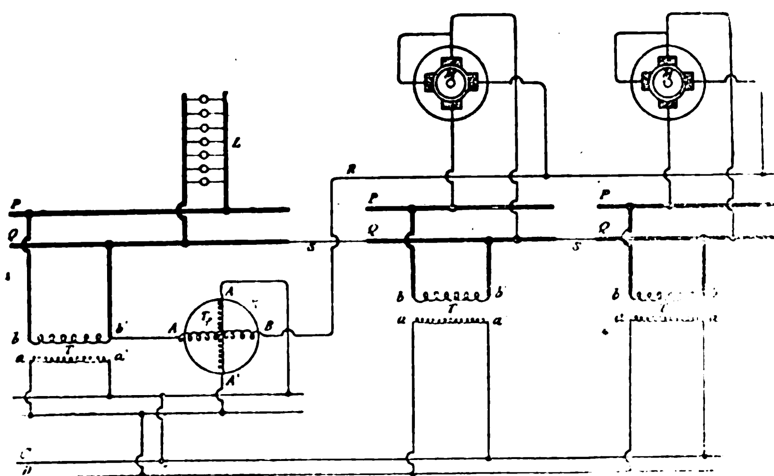


Fig. 7. — Autre mode d'alimentation d'un système à trois fils pour lampes et moteurs.

Et si les moteurs sont du type asynchrone monophasé, le second circuit n'a à servir à autre chose qu'au démarrage, et peut être fait avec un fil de petite section. Et comme les principaux défauts que l'on reproche à ces moteurs se rapportent principalement à la difficulté du démarrage, tandis que leur fonctionnement est peu différent de celui des moteurs polyphasés ; les moteurs asynchrones monophasés pourront, avec notre système, qui élimine les difficultés du démarrage, recevoir un large emploi. Dans notre système, en effet, le démarrage est obtenu exactement comme pour les moteurs polyphasés, et peut être effectué en un temps très court et sous charge.

Un seul transformateur à décalage peut servir au démarrage de nombreux moteurs asynchrones monophasés, même lorsque quelques-uns de ceux-ci se trouvent à une grande distance. Dans ce cas, se présente le problème de faire en sorte que le transformateur à décalage n'ait pas à produire, et que son circuit secondaire n'ait pas à transmettre un courant d'intensité supérieure à celui qui est nécessaire pour le démarrage du plus grand des moteurs. On peut résoudre ce problème des deux manières suivantes :

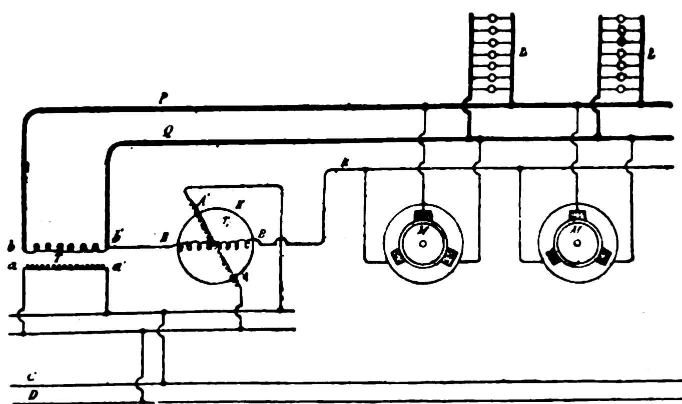


Fig. 8. — Alimentation d'un système triphasé.

1re manière

Soient P et Q (fig. 12 et 13) deux conducteurs appartenant à un réseau ordinaire à courant alternatif, et destinés à alimenter des lampes L et des moteurs M', M'', M''' synchrones ou

asynchrones monophasés ; et soit X Y Z un troisième conducteur destiné à porter le courant déplacé de phase nécessaire pour le démarrage.

A chaque station réceptrice est placé un commutateur à deux voies C, lequel sert à mettre la partie Y du fil X Y Z, provenant du transformateur à décalage, en communication ou avec le moteur que l'on veut faire démarrer, ou avec le tronçon Z, qui conduit aux stations réceptrices suivantes ; de manière qu'une station réceptrice ne puisse mettre en marche son propre moteur sans interrompre la communication des moteurs suivants avec le transformateur à décalage. Ainsi, une station réceptrice quelconque peut à chaque instant reconnaître si au moment même elle peut se servir du fil X Y Z pour le démarrage de son propre moteur, ou bien si ce fil, en ce moment, est employé par d'autres stations réceptrices. En effet, dans le premier cas, le fil X Y Z présente une différence de potentiel relativement au fil Q, mais ne porte aucun courant ; tandis qu'au contraire dans l'autre cas, ou il n'existe ni différence de potentiel ni courant, ou bien ils existent

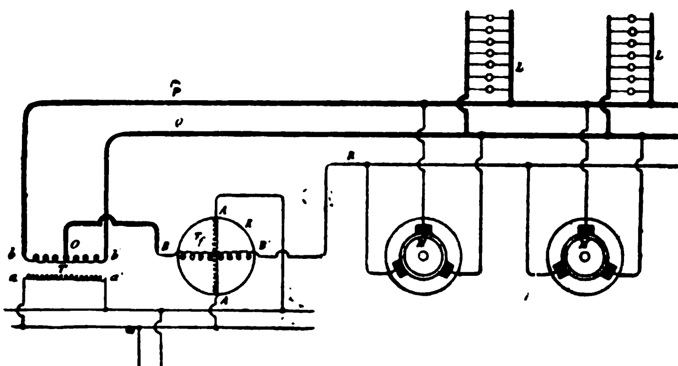


Fig. 9. — Autre mode d'alimentation d'un système triphasé.

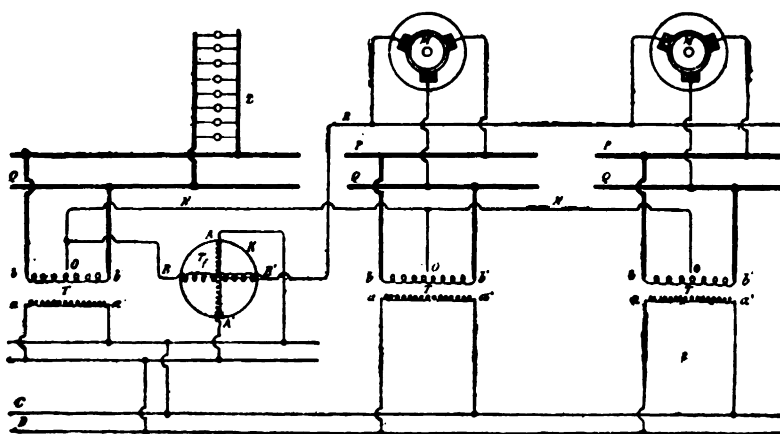


Fig. 10. — Autre mode d'alimentation d'un système triphasé

tous deux. Il n'existe ni différence de potentiel, ni courant, quand le fil X Y Z est utilisé pour le démarrage d'un des moteurs qui précèdent celui dont il s'agit ; la différence de potentiel et le courant existent lorsque le fil X Y Z est utilisé pour le démarrage de l'un des moteurs qui le suivent.

Il suffit donc que la station réceptrice ait un ampèremètre ou un simple rhéoscope inséré sur le fil Y, et un voltmètre ou un simple voltscope appliqué entre les fils Y et Q. Elle peut se servir du fil X Y Z, lorsque le voltmètre indique l'existence d'une difféence de potentiel, tandis que l'ampèremètre indique zéro ; elle ne peut, au contraire s'en servir, lorsque, ou le voltmètre marque zéro, ou l'ampèremètre dénote l'existence d'un courant.

Cela peut être rendu plus commode et plus pratique moyennant une disposition telle, que quand il existe un courant dans le fil X Y Z, ce courant ait pour effet de rompre le circuit du voltmètre. Alors, en effet, toutes les fois que le fil X Y Z est occupé, le voltmètre marque zéro, tandis qu'il indique une différence de potentiel quand le fil X Y Z est libre, de sorte que station réceptrice n'a à observer

que les indications de cet instrument

Dans ce but, il suffit de substituer à l'ampèremètre ou un électro-aimant A, comme pour en donner un exemple il est indiqué dans la figure, ou un autre appareil quelconque, qui, quand il est mis en mouvement par le cou-

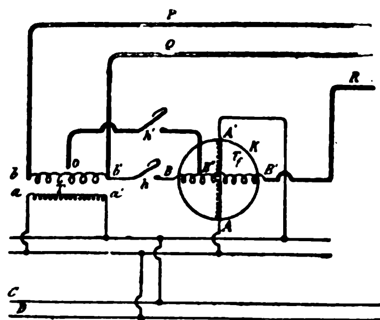


Fig. 11. — Mode de montage permettant l'alimentation d'un système diphasé ou d'un système triphasé.

rant provenant du fil Y, fasse mouvoir un interrupteur v inséré sur le circuit $p\,q$ du voltmètre.

On peut utilement substituer au voltmètre un appareil quelconque inséré en dérivation entre les fils Q et Y, lequel directement ou indirectement, indique par un signe visible ou autrement sensible, l'existence de la tension. Cet appareil peut, par exemple, être constitué par un électro-aimant V ; dans ce cas le signe visible ou autrement sensible, pourrait être obtenu par les mouvements de son armature. En outre, des signes visibles que l'on peut obtenir de cette manière, il en est un qui est très convenable, et qui consiste dans l'allumage ou l'extinction d'une lampe électrique.

Une manière d'obtenir cet effet est indiquée dans les figures 12 et 13. La lampe électrique l est insérée entre les conducteurs principaux P et Q à l'aide des fils r et s. Entre ces fils il existe un interrupteur W commandé par l'armature z de l'électro-aimant V. Si la tension existe, l'armature z reste soulevée et la lampe l est éteinte ; si la tension cesse d'exis-

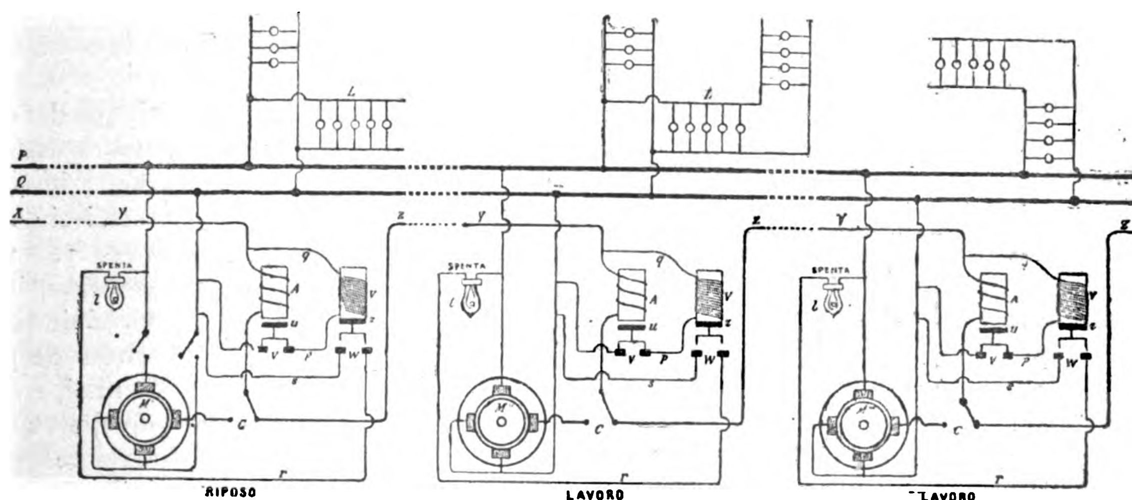


Fig. 12. — Alimentation de moteurs monophasés avec conducteur pour le démarrage.

ter, l'armature z s'abaisse et la lampe l s'allume.

Voici la manière de fonctionner de ce système. Si le fil X Y Z (fig. 12) n'est pas employé par d'autres stations réceptrices, l'électro-aimant ampèremétrique A n'est pas parcouru par un courant, et par conséquent, le circuit $p\,q$ de l'électro-aimant voltmétrique V est fermé. Cet électro-aimant attire son armature z et interrompt ainsi en W le courant de la lampe l, laquelle reste éteinte. Si, au contraire, le fil X Y Z (fig. 13) est utilisé, par exemple, pour le démarrage du moteur M'', alors la lampe l reste allumée dans toutes les stations réceptrices. En effet, auprès des moteurs comme M', placés entre le transforma-

teur à décalage et le moteur M″, l'électro-aimant A se trouve parcouru par un courant et attire son armature u, l'interrupteur v interrompt le courant $p\ q$ de l'électro-aimant voltmétrique V : par conséquent, l'interrupteur W demeure fermé, et la lampe l reste allumée ; auprès des moteurs, comme M″, qui viennent après le moteur M″, aucune différence de potentiel n'existe entre les fils Q et Y, et par conséquent l'électro-aimant voltmétrique V

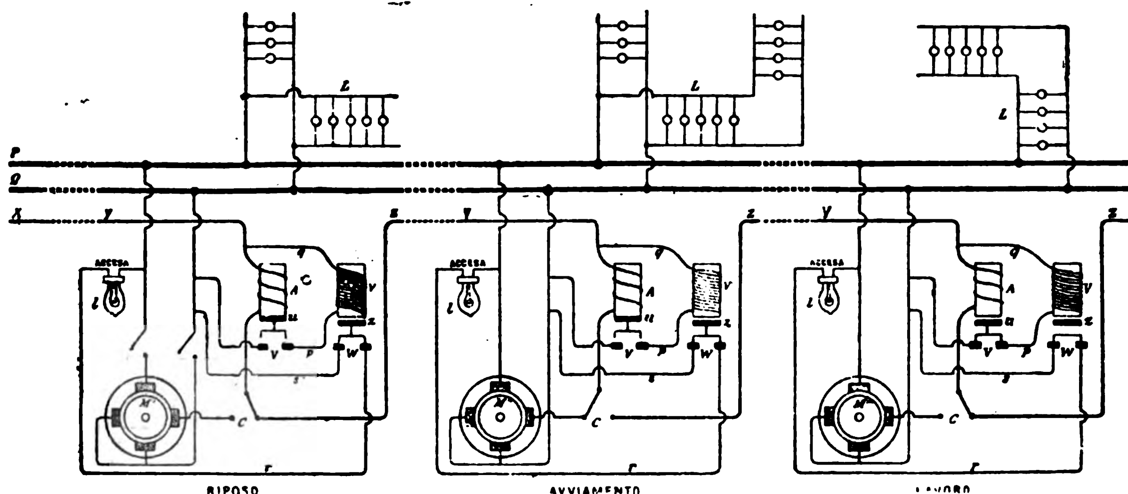


Fig. 13. — Alimentatian de moteurs monophasés avec conducteur pour le démarrage.

n'attire pas son armature z ; c'est pourquoi l'interrupteur W reste fermé et la lampe l reste encore allumée.

En résumé, la station réceptrice, pour savoir si elle peut se servir du fil X Y Z pour le démarrage de son propre moteur, n'a qu'à observer la lampe l ; si elle est éteinte, le fil est à sa disposition, si elle est allumée, le fil est occupé.

Il est bien facile d'imaginer d'autres dispositions par lesquelles les mouvements de l'armature W de l'électro-aimant voltmétrique V au lieu de servir à ouvrir ou à fermer le circuit d'une lampe l, servent, au contraire, à faire fonctionner un organe mécanique qui permette ou empêche d'agir sur le commutateur C.

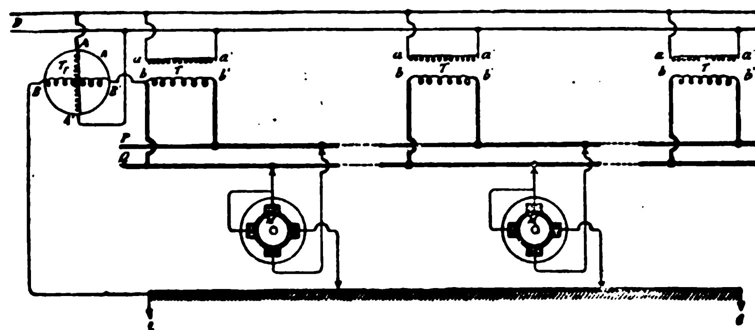


Fig. 14. — Application à la traction électrique

2[e] manière. — On utilise le fait que dans la bobine secondaire du transformateur à décalage, lorsque celui-ci engendre un courant, il se produit une chute de potentiel, laquelle augmente par l'augmentation de l'intensité du courant engendré. C'est pourquoi, à peine le courant secondaire du transformateur à décalage est-il utilisé pour le démarrage d'un ou de plusieurs moteurs, qu'il se produit aussitôt sur tout le circuit une diminution de la différence de potentiel, d'autant plus notable que sont plus grands le nombre et la puis-

sance des moteurs que l'on met en mouvement. Ainsi, dans ce cas, l'appareil qui donne le signal peut être réduit à un simple voltmètre ou voltscope ou électro-aimant voltmétrique, agissant sur le circuit d'une lampe, ou produisant un signe quelconque visible ou autrement sensible.

Cette seconde manière d'opérer, outre qu'elle est très simple, a encore l'avantage de permettre de faire démarrer au même instant plusieurs moteurs de faible puissance, à la condition pourtant que le courant total décalé de phase ne surpasse pas celui pour lequel est construit le transformateur à décalage.

C'est précisément ce qui convient en pratique, puisque le démarrage des moteurs de grande puissance, n'ayant lieu qu'un petit nombre de fois par jour et à des heures déterminées ; ce n'est pas absolument un inconvénient de devoir attendre pendant quelques instants pour effectuer le démarrage, si un autre moteur est en train de se mettre en marche ; tandis que le démarrage des moteurs de faible puissance, que l'on peut avoir à effectuer très souvent pendant la journée, peut au contraire se faire en même temps pour plusieurs d'eux, et toujours, ou au moins presque toujours, sans aucun retard.

6. *Application à la traction électrique.* — Le système de transmission et de distribution électrique de l'énergie dont nous avons parlé, peut encore recevoir un importante application dans le cas de la traction électrique à l'aide d'un simple courant alternatif monophasé. Les moteurs M (fig. 14) du type asynchrone monophasé seront alors actionnés dans leur période normale de fonctionnement par le courant à basse tension engendré des divers transformateurs ordinaires T, insérés sur des conducteurs primaires CD à haute tension ; et l'on pourvoira au démarrage de ces moteurs mêmes au moyen d'un autre courant à basse tension engendré d'un transformateur à décalage T_f inséré sur les mêmes conducteurs C D à haute tension. Il est alors évident que des trois conducteurs P, Q, R nécessaires à la transmission des deux courants en question, le conducteur R, destiné à porter le courant décalé de phase pour le démarrage des moteurs, peut très convenablement être remplacé par un conducteur nu plongé dans le sol en communication avec les rails *t t*, ou même par ces derniers exclusivement.

GALILEO FERRARIS RICCARDO ARNO

QUELQUES MOTS
SUR LE CONGRÈS INTERNATIONAL
DES ÉLECTRICIENS A GENÈVE

La Société suisse des Électriciens a, comme on sait, pris l'initiative de convoquer un Congrès international des électriciens, à l'occasion de l'Exposition nationale suisse. Ce Congrès siègera à Genève, du 4 au 9 août, sous la présidence d'honneur de M. Turrettini, président de l'Exposition.

De nombreuses associations étrangères ont bien voulu répondre à l'appel du Comité d'organisation ; citons parmi elles : la Société internationale des électriciens de Paris, la Société belge des électriciens de Bruxelles, l'American Institut of Electrical Engineers de New-York, l'Institution of Electrical Engineers de Londres, l'Electrotechnischer Verein de Vienne, l'Electrotechnischer Verein et le Verband Deutscher Electrotechniker de Berlin ; les principales nationalités y seront donc bien représentées.

Parmi les sujets mis à l'ordre du jour du Congrès, notons d'abord la question très actuelle de la *nomenclature des unités magnétiques* et celle non moins importante des *unités photométriques*. Ces deux questions ont d'ailleurs été traitées récemment et de main de maître par M. Blondel, l'éminent collaborateur de ce journal ; qu'il me soit permis de renvoyer aux articles parus dans les n[os] des 2 mars 1895 et 20 juin 1896, de l'*Éclairage Électrique* le lecteur désireux de se familiariser avec elles.

La troisième discussion roulera sur *le transport et la distribution de l'énergie à grandes distances par l'emploi des courants continus et alternatifs*; elle traitera des avantages et inconvénients si souvent controversés de ces deux modes principaux de transmission.

Enfin deux questions très importantes d'électrotechnique, 1° *la protection des lignes à haute tension contre les décharges atmosphériques* et 2° *les perturbations diverses dues à la traction électrique*, compléteront cet attrayant programme.

Indépendamment des séances du Congrès, le Comité a organisé plusieurs visites à l'Exposition et aux usines électriques de la Ville (usine de l'Isle, usine de la Coulouvrenière et usine de Chèvres) dont les lecteurs de ce journal auront pu lire dernièrement la description sommaire. Ceux des membres du Congrès qui le désireront, auront également l'occasion de visiter, après le Congrès (du 10 au 17 août), les principales installations électriques de la Suisse.

Une promenade sur le lac Léman avec visite aux usines électriques de Vevey Montreux et excursion aux Rochers de Naije (2 064 m d'altitude) fera une agréable diversion aux discussions sérieuses. Il en sera de même de la réception que l'Etat et la ville de Genève se proposent de faire aux membres du congrès dans le Parc de l'Ariana.

Nous apprenons enfin que M. le Professeur Raoul Pictet, le savant génevois bien connu, a bien voulu se charger d'une conférence sur l'influence des basses températures sur la conductibilité des métaux et sur l'effet des rayons cathodiques, deux questions fort attrayantes que la compétence de l'éminent conférencier, jointe aux nouvelles installations frigorifiques dont il dispose (le pavillon Raoul Pictet) rendra plus attrayantes encore.

Nous avons donc lieu d'espérer que ni la partie instructive ni celle qui est purement récréative ne feront défaut et que ce Congrès obtiendra plein succès.

La *chronique* de l'*Éclairage Électrique* en donnera le programme complet dès qu'il sera définitivement arrêté.

CH. EUG. GUYE.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

L'emploi des dynamos en télégraphie [1]

Nous avons, à différentes reprises, signalé l'emploi des machines dynamo-électriques pour remplacer les batteries de piles dans les bureaux télégraphiques importants. La Western Union Telegraph Company, qui a été une des premières à adopter cette source d'électricité, vient de publier le diagramme complet de l'installation des dynamos, dans son bureau central de Chicago. Nous le reproduisons en figure 1. Comme on peut le voir, le mode de montage est toujours le même que dans les installations précédemment décrites.

L'installation complète consiste en trois batteries principales de dynamos. Dix-neuf des machines sont du type Edison, d'une puissance de 40 ampères sous 110 volts. Deux génératrices Crocker-Wheeler, de la même puissance, sont aussi employées. En plus, 25 petites dynamos Crocker-Wheeler, de 1/6 de cheval, à 85 volts, sont employées comme survolteurs, comme nous le verrons plus loin. Trois moteurs à vapeur de 20 chevaux chacun mettent toutes ces machines en mouvement ; en cas d'accident, des moteurs électriques Sprague, alimentés par le courant du réseau d'éclairage, peuvent être instantanément substitués aux moteurs à vapeur.

Les batteries de dynamos sont divisées en batterie positive, batterie négative et batterie de réserve. Chacune des deux premières est composée de 8 génératrices et la dernière de 5 seulement. La polarité de chaque batterie peut être changée à volonté.

[1] *The Electrical Journal* (Chicago), 15 mars 1896, p. 390.

Lorsque les deux batteries, positive et négative, sont en service, les trois premières machines, sur un seul côté, sont employées. Si l'on prend ces machines dans leur ordre numérique, la première, qui donne une différence de potentiel de 45 volts, alimente les fils du service urbain ; la seconde, qui donne une différence de potentiel de 7 volts, alimente, dans le local, les parleurs à un fil ; la machine n° 3, 23 volts, alimente les parleurs de tous les appareils multiples. Les machines n°s 4, 5, 6, 7 et 8, sont montées à peu près comme dans la distribution à 5 fils de Siemens et Halske, sauf qu'un des pôles, de chaque côté, est à la terre (fig. 2). Ces 5 machines, qui sont doublées par la batterie de réserve, doivent être employées en deux séries, une positive, l'autre négative. Les

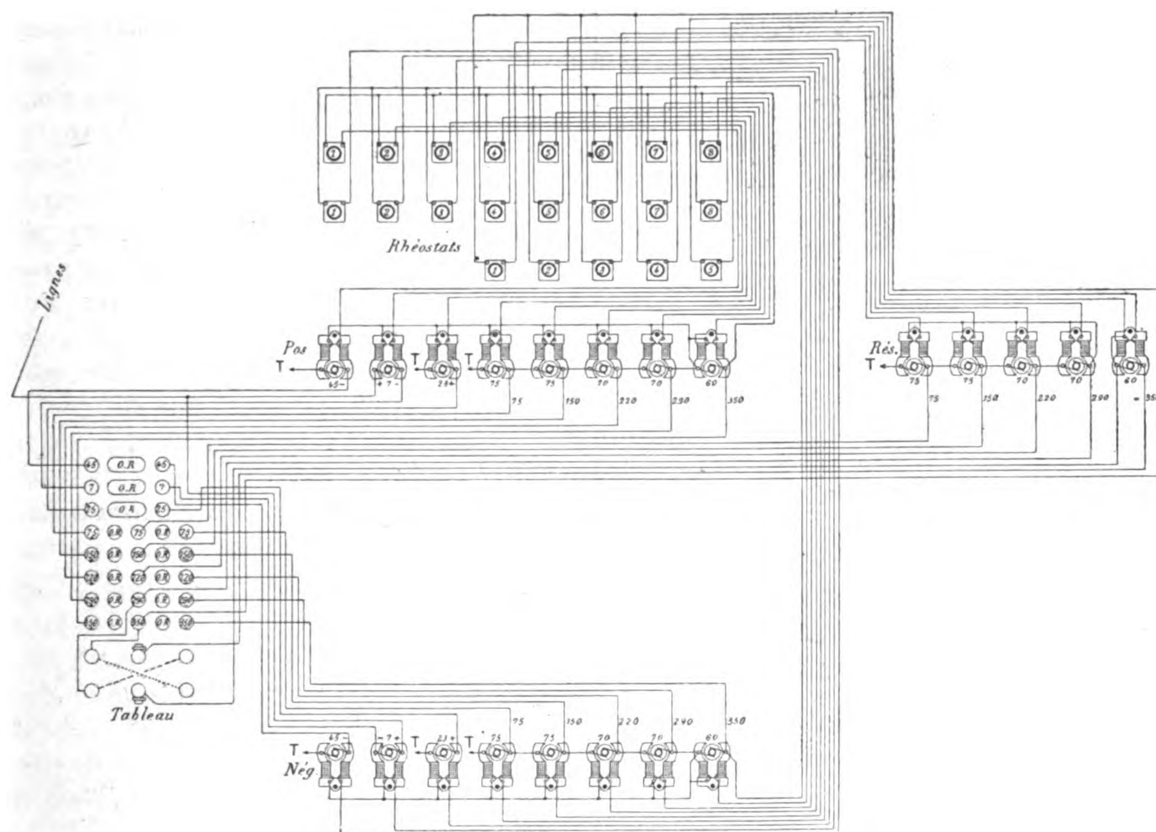


Fig. 1. — Diagramme de l'installation des dynamos dans le bureau central télégraphique de Chicago.

n°s 4 et 5 sont employés sur les circuits à transmission simple ou multiplex pour les courtes distances ; les n°s 6, 7 et 8 sont employés seulement sur les circuits multiples, le voltage augmentant avec la distance.

La batterie supplémentaire de 25 petites génératrices est en service continuel ; n'importe laquelle d'entre elles peut être introduite dans le circuit au lieu d'un relai, du tableau dans le bureau. Par exemple, Tolédo peut appeler Milwaukee et, par l'insertion d'une cheville dans le tableau, un de ces petits générateurs est mis en circuit, ce qui augmente le voltage et permet de se passer des relais qui, autrement, auraient dû être employés.

Un des points particuliers de cette installation, c'est que, dans chaque batterie, une seule des génératrices est auto-excitatrice ; une partie de son courant excite les inducteurs de toutes les autres dynamos du groupe ; des rhéostats sont intercalés dans le circuit inducteur de chaque machine ; de la sorte, le

voltage de chaque unité est maintenu à la valeur indiquée sur la figure, bien que l'enroulement soit calculé pour une différence de potentiel normale de 110 volts. En outre, la dynamo n° 4 de la batterie positive excite les inducteurs de toute la batterie de 25 petits

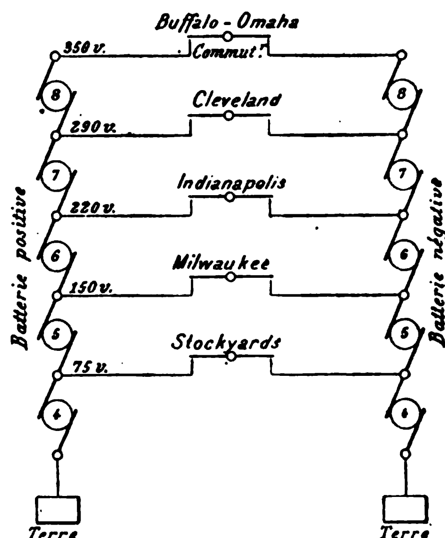


Fig. 2. — Schéma montrant la disposition des batteries dans les circuits

survolteurs, aucun de ceux-ci n'étant auto-excitateur.

Les dynamos donnent, en service normal, les puissances suivantes :

Dynamo N°	Volts	Ampères
1	45	11
2	7	22
3	23	44
4	75	3 sur la ligne 3 sur les inducteurs
5	75	2,1
6	70	1,25
7	70	2,25
8	60	3 sur la ligne 9 sur les inducteurs

L'emploi de machines à excitation indépendante permet au conducteur de maintenir le voltage dans des limites très étroites et, comme la charge varie très peu, la surveillance est réduite au minimum.

Ce bureau peut correspondre directement avec les villes distantes de 800 km, au maximum, de Chicago. Pour les plus grandes distances, l'emploi de relais devient nécessaire.

Cette installation remplace plus de 60 000 éléments Callaud. Elle occupe un emplacement de 2 à 3 fois plus réduit et coûte beaucoup moins de main-d'œuvre et d'entretien.

La nouvelle tendance de cette compagnie, après de nombreuses expériences, est de remplacer les dynamos par des batteries d'accumulateurs. Les frais de premier établissement sont à peu près les mêmes, à puissance égale, et les frais de main d'œuvre et d'entretien sont beaucoup moindres. Les éléments sont chargés par un courant acheté à une installation particulière ou à une station centrale. Près de 4 000 accumulateurs, d'une capacité variant de 6 à 100 ampères-heures, sont déjà en service ; ils remplaçent plus de 21 000 éléments Callaud et donnent pleine satisfaction.

G. P.

Le rendement maximum des transformateurs, par B. P. Scattergood (¹).

Lorsqu'on établit un transformateur pour une courbe de débit particulière, il est naturellement désirable d'obtenir que le rendement moyen d'une journée entière soit aussi élevé que possible. Mais le point de la courbe de débit, auquel le rendement du transformateur doit être maximum, variera avec la forme de cette courbe.

Dans les transformateurs de sous-stations, par exemple, mis en et hors circuit suivant les besoins et travaillant presque toujours à pleine charge, le rendement devra être maximum au voisinage de la pleine charge.

D'autre part, pour les transformateurs de maison, dont le débit, pendant une grande partie de la journée, est très faible, la station centrale aura avantage à leur donner le maximum de rendement à demi-charge ou même à moins.

(¹) *The Electrician*, 29 mai 1896.

En tout cas, un transformateur doit être établi de manière à fournir son rendement maximum pour une certaine charge déterminée d'après la courbe de variation de la charge. Les résultats déduits par l'auteur et déterminant les conditions de rendement maximum sont intéressants. Leur application éviterait, par exemple, qu'un transformateur puisse donner son maximum de rendement seulement à une charge supérieure à celle que son enroulement peut supporter sans danger.

Le problème consiste à trouver les conditions de rendement maximum d'un transformateur. Or, la perte qui se produit dans un transformateur se compose de la perte dans le fer (hystérésis et courants de Foucault), qu'en première approximation on peut considérer comme constante à toutes les charges, et de la perte dans le cuivre qui varie comme le carré du courant secondaire, à moins que le facteur de puissance du transformateur ne soit petit. Dans ce dernier cas, il faut tenir compte de l'accroissement de perte dans le cuivre primaire occasionné par le courant magnétisant. Toutefois, quand il s'agit d'un transformateur à circuit magnétique fermé, d'un bon type, dans lequel les fuites magnétiques sont peu considérables, les conditions énoncées en premier lieu sont applicables.

En appelant p la puissance perdue dans le fer, ρI^2 la perte dans le cuivre pour un courant secondaire I, et e la différence de potentiel secondaire, nous avons comme expression de rendement à un débit secondaire de eI watts :

$$\eta = \frac{eI}{p + \rho I^2 + eI}.$$

Il est facile de se rendre compte que dans l'équation ci-dessus ρ est égal à $r_1 \xi^2 + r_2$, si r_1 et r_2 désignent respectivement les résistances à chaud des enroulements primaire et secondaire, et ξ le rapport de transformation de l'appareil. La « constante » ρ est ainsi une fonction des résistances primaire et secondaire et du voltage secondaire du transformateur.

Strictement, les résistances r_1 et r_2 sont elles-mêmes fonction du courant I, à cause de l'échauffement produit par le courant ; mais l'erreur ne sera pas grande si on considère comme constantes les résistances portées à une certaine température moyenne. On peut aussi négliger sans inconvénient la chute de potentiel, et considérer e comme constante et égale à la différence de potentiel à circuit ouvert. La valeur de ρ sera alors constante.

Dans l'expression du rendement, il ne reste donc plus qu'une variable, l'intensité de courant I. Pour trouver la valeur de I correspondant au rendement maximum, nous posons la dérivée par rapport à I égale à zéro :

$$\frac{1}{e}\frac{d\eta}{dI} = \frac{p - \rho I^2}{(p + \rho I^2 + eI)^2} = 0.$$

La condition pour le maximum de rendement est par conséquent :

$$p = \rho I^2,$$

c'est à dire que la perte dans le cuivre doit égaler la perte dans le fer.

Il en résulte l'expression suivante pour le rendement maximum :

$$\eta_{max} = \frac{eI}{2\rho I^2 + eI} = \frac{e}{e + 2\rho I}.$$

I étant déterminé par l'équation

$$\rho I^2 = p,$$

ou

$$I = \sqrt{\frac{p}{\rho}},$$

on a :

$$\eta_{max} = \frac{e}{e + 2\sqrt{\rho p}}.$$

Comme exemple, prenons le cas suivant d'un transformateur existant.

Perte dans le fer à circuit ouvert $= p$....................	$= 140$ watts.
Résistance primaire à chaud	$= 1{,}75$ ohm.
» secondaire »	$= 0{,}006$ ohm.
Rapport de transformation à circuit ouvert..................	$= \frac{102 \text{ volts}}{2\,000 \text{ volts}} = \frac{1}{19{,}61}.$

Ces nombres donnent $\rho = 0{,}01055$, et la charge correspondant au rendement maximum est :

$$I = \sqrt{\frac{140}{0{,}01055}} = \sqrt{13270} = 115 \text{ ampères, environ.}$$

A cette charge le rendement est :

$$\eta_{max} = \frac{102}{102 \times 2\sqrt{140 \times 0{,}01055}} = 97{,}67 \text{ pour } 100.$$

Pour montrer combien est faible l'erreur que l'on fait en prenant dans la formule ci-dessus la valeur du voltage à circuit ouvert au lieu de la valeur variable avec le débit, nous allons déterminer la chute de potentiel et refaire le calcul du rendement.

On trouve que la chute de potentiel due à la résistance secondaire est

$$115 \times 0{,}006 = 0{,}69 \text{ volt},$$

celle due à la résistance primaire,

$$\frac{115}{19{,}61} \times \frac{1{,}75}{19{,}61} = 0{,}52 \text{ volt}.$$

La chute de potentiel totale est ainsi de 1,21 volt. Reste la chute due aux fuites magnétiques. On peut l'estimer, par comparaison avec des types de transformateurs similaires, à 0,4 ou 0,5 volt. On arrive donc au total d'environ 1,7 volt, e devient alors 102-1,7 ou 100,3 volts, et cette correction introduite dans la formule du rendement maximum donne

$$\eta_{max} = 97{,}63 \text{ pour } 100,$$

valeur à peine différente de celle obtenue en négligeant la chute de potentiel. Si nous substituons, dans l'expression du rendement la valeur corrigée de p, c'est à dire celle correspondant au voltage 100,3, au lieu de 102, la valeur de η_{max} devient 97,65 qui est encore plus rapprochée du résultat obtenu à l'aide de la formule approximative.

Ces formules très simples, $I = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$ et $\eta_{max} = \frac{e}{e + 2\sqrt{p\rho}}$ peuvent être employées sans correction pour déterminer les conditions de rendement maximum, et devraient être familières à tous ceux qui s'occupent de la construction ou de l'application pratique des transformateurs.

A. H.

L'évolution de l'accumulateur, par Maurice Barnett (¹).

L'histoire des progrès faits dans la production de l'électricité par des procédés chimiques a été tracée depuis Gautherot (1801) jusqu'en 1859, époque à laquelle Planté fit une étude systématique des effets de polarisation dans le but d'arriver à les utiliser et combina son élément secondaire bien connu.

Le zinc, le fer et même le cuivre seraient, par l'énergie de leurs réactions chimiques, plus efficaces que le plomb, mais ont l'inconvénient de donner des sels solubles.

Le plomb fournit des sels qui sont pratiquement insolubles dans l'électrolyte, et cette insolubilité diminue les actions locales. Le peroxyde ainsi que le plomb métallique des deux électrodes sont transformés en sulfate pendant la décharge. La même réaction a lieu dans les couples locaux. Or, la couche de sulfate formée protège le reste de la matière active.

D'autre part, le principe fondamental de l'accumulateur et de rendre possible la réversibilité des actions qui se passent à chaque décharge. Avec des électrodes solubles, on rencontre une difficulté presque insurmontable pour redéposer sous une forme convenable le métal dissous. Jusqu'à présent, tous les efforts en ce sens ont échoué. On a donc été conduit à employer soit des électrodes insolubles ou des électrodes qui, comme le plomb forment des sels insolubles dans l'électrolyte.

A l'heure actuelle, le plomb est le seul métal employé industriellement pour la construction des accumulateurs. Le zinc et le cuivre ont été employés avec le plomb dans les éléments Reynier et Sutton, et le zinc a été employé avec le cuivre dans les éléments Thomson-Houston et Waddell-Eutz. Ces essais n'ont pas eu grand succès. Le plomb reste le seul métal assurant pratiquement la réversibilité des réactions. Deux autres propriétés de ce métal le rendent spécialement avantageux dans la construction des accumulateurs ;

(¹) *Journal of the Franklin Institute*, t. CXLI, n° 844.

ce sont, en premier lieu, la conductibilité du peroxyde et en second lieu la force électromotrice élevée que fournit le couple plomb-peroxyde dans l'acide sulfurique dilué.

Des expériences de Planté (1859) à l'invention de Faure (1880), la machine dynamo-électrique fut perfectionnée et offrit bientôt les moyens de produire économiquement des courants électriques de grande intensité et de f. é. m. élevée. Cette circonstance fit jouer à l'accumulateur un rôle plus important et dont l'avenir était plein de promesses. L'invention de Faure avait pour objet la réduction de la durée et du coût de la formation Planté, et consistait à garnir les plaques de minium et de litharge. Dès ce moment, les accumulateurs furent employés à une foule d'usages, et dès 1883, une voiture électrique munie d'une dynamo Siemens et portant 2 000 kg d'accumulateurs fut mise en service à Kew Bridge.

L'accumulateur avait été mis sur le marché sous une forme grossière et peu étudiée ni par le physicien, ni par le fabricant. De plus, on l'appliquait à toutes sortes d'usages où, précisément sous sa forme primitive, il était peu avantageux. Des insuccès en résultèrent, et le discrédit ainsi créé n'a pas encore disparu, quoique les batteries que l'on construit aujourd'hui donnent satisfaction.

On crut voir dans la batterie Faure un si grand progrès sur l'élément Planté, qu'entre 1880 et 1890 on paraît avoir admis qu'une batterie industrielle ne pouvait être que du type à plaques garnies de matière active.

Récemment, le type Planté est rentré en faveur, en même temps qu'un élément particulier au chlorure de plomb.

Les éléments Planté se font sous des formes variées. Il y a d'abord les plaques rigides à surface striée. En second lieu, on emploie le plomb laminé sous forme de feuilles ou de rubans. Enfin, dans quelques types, on donne de la porosité au métal, en y incorporant à l'état liquide un composé que l'on élimine ensuite par lessivage.

Le but que l'on recherche en augmentant la surface par unité de poids du métal est de faciliter la formation et d'accroître la capacité spécifique des plaques ; enfin, de laisser se produire sans danger pour les plaques le foisonnement de la matière active. Les caractéristiques du type Planté sont : l'inocuité pour l'élément des régimes de décharge rapide, le peu d'importance des actions locales et des irrégularités qu'elles entraînent.

Dans le type Faure l'action locale se produit entre la matière active et son support, et conduit à la perte interne de la charge et à la formation de sulfate qui nuit à l'intimité du contact entre la pâte et la grille. Le foisonnement ayant lieu dans tous les sens, les pastilles tombent et produisent des courts circuits entre les plaques.

La plaque positive Tudor est une forme de plaque épaisse et solide présentant des rainures qui reçoivent la matière active. Ce type permettant des décharges rapides est très employé dans les stations centrales.

L'élément au chlorure de plomb est ainsi nommé parce que sa matière active est préparée avec du chlorure de plomb moulé sous forme de pastilles autour desquelles on coule du plomb antimonié. En mettant les plaques en contact avec du zinc dans un bain de chlorure de zinc, on provoque la décomposition du sel de plomb qui laisse un résidu spongieux et de structure cristalline de plomb. Les avantages obtenus dans ce procédé sont : Un bon contact entre la matière active et son support ; le foisonnement rendu inoffensif par la constitution particulière de la matière active ; la grande cohésion due à la structure cristalline ; une grande capacité due à la porosité de la matière ; enfin, pour cette même cause, la rapidité de la formation. Ces avantages ont fait apprécier le type dit au chlorure, dont les plaques négatives sont très employées surtout avec d'autres formes de plaques positives.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur le rôle du noyau de fer de l'induit dans les machines dynamo-électriques. Réponse à la note de M. Potier, par Marcel Deprez (¹).

« Je n'ai jamais dit que la production d'une force électromotrice dans un circuit entouré de fer doux était un fait nouveau, puisque tout le monde sait qu'il existe des machines dynamo-électriques dans lesquelles, comme l'a rappelé M. Potier lui-même dans sa première note, le circuit induit est formé de barres introduites dans des trous percés dans le fer de l'armature parallèlement à l'axe de rotation. Mais ce procédé, adopté surtout pour rendre la construction de l'induit plus facile au point de vue mécanique, n'a jamais été l'objet d'une étude approfondie, ni de la part de ceux qui l'ont appliqué ni de la part des électriciens. On s'est borné à reconnaître qu'il présentait certains avantages parce qu'il permettait de diminuer l'entrefer et qu'il avait pour conséquence une plus grande uniformité du champ magnétique traversé par les conducteurs. On s'est également aperçu que, loin d'être indépendante de l'épaisseur des parois du tube de fer dans lequel passe le conducteur, la force électromotrice diminue rapidement quand cette épaisseur augmentait, et que l'épaisseur la plus favorable devait être déterminée par tâtonnement.

» Il n'y a donc qu'un rapport assez éloigné entre ces faits et mon expérience dans laquelle la force électromotrice est, comme je l'ai dit, rigoureusement indépendante de l'épaisseur du tube et rigoureusement égale à celle d'un second fil nu placé en dehors du tube.

» M. Potier me permettra donc de croire, jusqu'à ce qu'il m'ait fourni preuve du contraire, que cette expérience est nouvelle et qu'elle a les conséquences que j'ai déjà signalées dans ma première note. Elle prouve d'une façon absolue que, bien que le fantôme magnétique à l'intérieur du tube indique un champ très faible, le fil noyé dans ce tube développe exactement la même force électromotrice que le fil placé en dehors et que, par conséquent, le fer ne fait pas écran aux lignes de force du champ extérieur. J'avais donc raison de dire que l'examen du fantôme magnétique ne suffit pas pour calculer la force électromotrice et qu'il faut tenir compte du mouvement relatif du fil.

» Notre éminent confrère revient toujours sur ce point, que mon expérience ne contredit pas la loi de proportionnalité entre la variation du flux total embrassé par le circuit et la force électromotrice. Je suis absolument de cet avis et, dans ma dernière note, je me suis prononcé si nettement à cet égard, que je suis surpris de son insistance.

» Faut-il répéter encore une fois que ma note n'avait pas pour but de discuter les lois de l'induction, mais bien, comme son titre l'indique, le rôle du fer dans l'induit des machines dynamo-électriques ?

» Cette idée que ce sont les lois de l'induction qui sont en cause paraît tellement préoccuper notre éminent confrère, que sa réponse a, cette fois, pour titre : *Sur les lois de l'induction*. En réalité, quand on lit avec soin les deux notes dans lesquelles il a bien voulu faire la critique de mon expérience, on voit bientôt que son opinion intime est qu'il n'y a qu'une seule loi de l'induction, celle de la proportionnalité entre la variation du flux total embrassé et la force électromotrice développée, et qu'il considère comme une simple hypothèse celle qui assigne à chaque élément du circuit une force électromotrice proportionnelle au flux coupé dans l'unité de temps.

» Cependant, dans sa communication du 18 mai, il s'exprimait ainsi :

» L'expérience de M. Marcel Deprez « ne » contredit qu'en apparence la règle qui at- » tribue *à chaque élément du fil induit* une » force électromotrice proportionnelle *au flux* » *coupé par cet élément*... »

Et, dans celle du 1er juin, je lis la phrase

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1295 ; séance du 8 juin.

suivante : « Ce point n'avait pas été touché par M. Marcel Deprez, dans sa première note. Je me suis abstenu d'en parler, *aussi bien que de parler de flux coupé par un élément de circuit.* »

Pourquoi M. Potier tenait-il à prouver, le 18 mai, que mon expérience ne contredit qu'en apparence la loi sur laquelle je m'appuie (bien loin de vouloir la trouver en défaut) pour prouver que le fer est traversé par les lignes de force du champ magnétique, comme le serait un tube de substance non magnétique, et pourquoi, le 1er juin, déclare-t-il qu'il s'est abstenu de parler de cette même loi ?

J'ai dit dans ma dernière note que la loi *élémentaire*, ou loi du flux coupé, telle qu'elle a été formulée par les savants qui les premiers ont appliqué le calcul à l'étude du phénomène expérimental de l'induction, me paraissait devoir conserver le rang de loi fondamentale, tandis que celle du flux embrassé par un circuit fermé n'en est que la conséquence. Je suis, en cela de l'avis de la très grande majorité des auteurs qui ont écrit sur ce sujet. Je ne vois pas bien pourquoi on cherche à faire disparaître peu à peu la première par la seconde. Cela ne rappelle-t-il pas le procédé qui consiste à résoudre toutes les questions de la Mécanique ou de la Physique au moyen du principe de la conservation de l'énergie ? Les théorèmes généraux de la Mécanique, dont je parlais dans ma dernière note, constituent des conditions nécessaires, mais non suffisantes, et l'on ne peut, avec leur seul secours, résoudre tous les problèmes de Mécanique. En résumé, la loi du flux embrassé par un circuit fermé est comme une sorte de loi de comptabilité très commode dans les applications pratiques, mais qui ne peut être d'aucune utilité pour trancher une question comme celle qui a fait l'objet de ma première Communication. »

Etude de la fonte et du carbure de vanadium, par Henri Moissan [1]

Il y a trois ans l'auteur avait reconnu que l'acide vanadique est réductible par le charbon au four électrique et peut donner ainsi une fonte de vanadium contenant de 17 à 25 pour 100 de carbone (*Comptes Rendus*, t. CXVI, p. 1222 ; 29 mai 1893). Ayant pu se procurer une notable quantité de cendres provenant d'une houille vanadifère, il a continué et étendu ces recherches.

En chauffant pendant cinq minutes au four électrique, dans un tube en charbon avec 900 ampères et 50 volts, 300 grammes d'un mélange formé de 60 parties en poids de charbon de sucre et 182 parties d'anhydride vanadique pur retiré des cendres, il a obtenu un vanadium très carburé donnant à l'analyse de 10,5 à 15,9 pour 100 de carbone suivant l'échantillon. D'autres essais faits en prenant une proportion moindre de charbon ont donné des fontes contenant de 9,2 à 9,9 pour 100 de carbone. En faisant traverser le tube de charbon par un courant d'hydrogène et opérant avec 1000 ampères et 60 volts, M. Moissan a obtenu une fonte ne renfermant plus que 5,3 à 4,4 de carbone. Cette fonte est blanche, a une cassure brillante et métallique, est inoxydable à l'air, brule avec incandescence au rouge dans l'oxygène et de carbure à l'azote avec facilité.

En prolongeant la chauffe au four électrique avec 900 ampères et 50 volts, pendant 9 à 10 minutes, on obtient un culot métallique formé par un carbure défini de vanadium de formule C Va, (soit environ 19 de carbone pour 81 de vanadium) se présentant en beaux cristaux bien nets, rayant le quartz et possédant les mêmes propriétés chimiques que la fonte de vanadium à celà près que cette dernière est plus facilement attaquée par les agents chimiques.

En mélangeant à l'anhydride vanadique de l'oxyde de fer, M. Moissan a pu obtenir, par réduction au four électrique en présence du charbon, une fonte renfermant 73,96 de fer, 18,16 de vanadium et 8,35 de carbone. Avec de l'oxyde de cuivre il a obtenu un alliage de cuivre et de vanadium, ne renfermant que 2,5 pour 100 de ce dernier métal, très mollé-able et de peu de dureté.

[1] *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 1297-1302, séance du 8 juin 1896.

Un mélange d'argent réduit, d'anhydride vanadique et charbon soumis au même traitement a donné un culot métallique nettement séparé en deux parties : d'une part le vanadium sans trace d'argent, et en dessous l'argent sans trace de vanadium ; il n'y a donc pas d'alliage de ces deux métaux.

De l'ensemble des propriétés du vanadium, M. Moissan conclut que ce corps est plus voisin des métalloides que des métaux ; son carbure se rapproche des carbures de titane et de zirconium qui ont même formule.

Sur une nouvelle méthode de préparation des alliages d'aluminium, par Henri Moissan (¹).

Dans ses recherches sur le vanadium, l'auteur a obtenu un alliage de ce métal et d'aluminium en maintenant, au fond d'un creuset de terre, de l'aluminium fondu et en projetant à sa surface un mélange d'acide vanadique et de limaille d'aluminium. Ce dernier métal agit comme réducteur ; il se produit une vive incandescence et, en agitant toute la masse, on obtient un alliage d'aluminium vanadium très malléable et peu dur ; cet alliage renfermait 2,5 pour 100 de vanadium.

Des alliages d'aluminium avec le nickel, le molybdène, le tungstène, l'uranium et le titane ont pu être préparés de la même manière. Il arrive souvent que la chaleur dégagée par la réaction est tellement grande que l'œil ne peut en supporter l'éclat. Ce grand dégagement de chaleur permet d'ailleurs de maintenir liquides des alliages riches en métaux réfractaires dont la température de fusion est plus élevée que celle de nos fourneaux ordinaires. Ainsi il a été possible de préparer de cette manière des alliages renfermant 75 pour 100 de tungstène· Les alliages à 10 pour 100 s'obtiennent avec facilité, mais on ne doit pas oublier que parfois la réaction est explosive.

Ces alliages paraissent présenter un certain intérêt industriel et fournir un débouché assez important à l'aluminium. M. Moissan s'exprime ainsi à ce sujet :

Lorsqu'on met, par exemple, du chrome métallique en présence du cuivre fondu, ce dernier n'en dissout qu'une très petite quantité, environ 0,5 pour 100, et il est impossible d'aller au delà.

Prenons un alliage d'aluminium chrome, il se dissoudra en toutes proportions dans le cuivre fondu et fournira un alliage mixte : cuivre, chrome, aluminium.

Dans cet alliage mixte, il est facile d'éliminer l'aluminium en recouvrant le bain fondu d'une petite couche d'oxyde de cuivre. Ce dernier, comme on le sait, se dissout avec facilité dans le cuivre et brûle l'aluminium, qui vient nager à la surface du bain sous forme d'alumine.

Ce procédé pourrait servir de même pour faire passer le tungstène ou le titane dans un bain d'acier maintenu liquide au four Martin-Siemens. L'excès d'aluminium serait rapidement brûlé et viendrait dans la scorie. On pourrait même le détruire par une addition d'oxyde de fer.

Nous estimons que cette méthode est générale et permettra d'obtenir un grand nombre d'alliages nouveaux.

Sur les rayons X, par C. Maltézos (¹)

« Dans la séance du 28 mai j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie des considérations théoriques sur les radiations à longueur d'onde infiniment petite en les rapprochant des rayons X et je concluai qu'on peut expliquer le fait du différent pouvoir absorbant des corps avec la densité, en supposant que l'indice de réfraction diffère très peu de l'unité. Dans cette hypothèse la réfraction et la polarisation seront très faibles.

» Si l'on suppose au contraire λ exactement égal à zéro, la réfraction sera rigoureusement nulle, ainsi que la polarisation. Les expériences quant à présent ne sont pas nettement

(¹) *Comptes Rendus*, t. CXXII, p. 1302 ; séance du 8 juin 1896.

(¹) *Comptes Rendus*, t. CXII, p. 1474 ; séance du 22 juin.

concluantes sur ce point. Cependant, d'après les expériences les plus précises, M. Gouy a observé de petites déviations qui, si elles étaient expliquées par la réfraction, prouvent que n diffère de l'unité de moins de $\frac{1}{200000}$.

» J'avais écarté précédemment le cas $\lambda = 0$, surtout parce que je ne voyais pas alors comment expliquer le fait du différent pouvoir absorbant avec la densité. Maintenant, ayant été, je le pense au moins, plus heureux, je reviens sur ce point.

» *Cas de* $\lambda = 0$. — Dans ce cas, répétons-nous, pas de réflexion régulière, pas de réfraction, pas de polarisation, pas de diffraction. Il reste à démontrer que deux autres propriétés optiques des rayons X se retrouvent théoriquement dans le cas d'une longueur d'onde nulle.

» *Dans ce cas la période de vibration est rigoureusement nulle.* — Donc, chaque molécule d'éther a un mouvement instantané et le même pendant le passage de ces radiations. *Donc le mouvement de la molécule doit être considéré comme indépendant du temps.*

» Si l'on suppose une onde plane perpendiculaire à l'axe des z, et si l'on désigne par ξ et ξ_1 les déplacements des molécules de l'éther et de la matière, P_1 étant le facteur de proportionnalité entre les forces élastiques résultantes et la différence $\xi - \xi_1$ et H_1 le facteur de proportionnalité entre les forces résultant de l'action des molécules matérielles en mouvement et les molécules en repos et les déplacements de ces molécules (d'après l'hypothèse de Helmholtz), on trouve les équations

$$\left\{\begin{aligned} \frac{d^2\xi}{dz^2} &= P_1(\xi - \xi_1), \\ P_1(\xi - \xi_1) - H_1\xi_1 &= 0, \end{aligned}\right. \qquad (3)$$

d'où, en éliminant ξ_1 on arrive à l'équation

$$\frac{d^2\xi}{dz^2} = \mathfrak{A}\,z,$$

avec

$$\mathfrak{A} = P_1\left(1 - \frac{P_1}{P_1 + H_1}\right),$$

P_1 et H_1 étant proportionnels à la densité du corps ρ_1 (¹). L'intégrale générale est

$$\xi = ae^{z\sqrt{\mathfrak{A}}} + be^{-z\sqrt{\mathfrak{A}}}.$$

Or pour $z = 0$, $\xi = \xi_0$, et pour $z = \infty$ on doit avoir $\xi = 0$, donc

$$\xi = \xi_0 e^{-z\sqrt{\mathfrak{A}}}. \qquad (5)$$

Le coefficient d'absorption est maintenant $\sqrt{\mathfrak{A}}$. En comparant cette valeur avec celle correspondant à $\lambda > 0$, on conclut que

» 1° *Ces radiations* ($\lambda = 0$) *ont un coefficient d'absorption extrêmement petit.* — Ainsi se trouve expliquée théoriquement, *dans cette hypothèse*, la plus précieuse jusqu'à présent, au point de vue pratique, des propriétés des rayons X. De la valeur de $\mathfrak{A}$ on conclut aussi que

» 2° *Toutes choses égales d'ailleurs, l'absorption augmente avec la densité.* — On voit donc qu'avec $\lambda = 0$ on a *des mouvements* possédant toutes les propriétés optiques des rayons X (supposés non réfrangibles et impolarisables). Ces mouvements doivent être assimilés *à une espèce de chocs* instantanés et infiniment rapides.

» *Cas des vibrations longitudinales.* — Quelques physiciens ont supposé que les radiations X étaient des vibrations longitudinales. L'éther est-il susceptible de les propager, *si elles prennent naissance quelque part ?* Nous n'en savons rien au juste ; mais de là à conclure que les radiations X sont des vibrations longitudinales, il y a très loin. En effet, ces vibrations, si elles existaient, devraient se réfracter aussi bien que les transversales ; et l'on pourrait trouver pour l'indice de réfraction une formule analogue à celle pour les vibrations transversales, en prenant pour nouvelle unité V_1 la vitesse dans le vide de ces radiations. Or, dans ce cas, on trouve de nouveau $n = 1$, pour $\lambda = 0$. Le seul critérium si les vibrations étaient transversales ($\lambda = 0$)

(¹) Dans ma précédente Communication j'ai pris P_1 indépendant de ρ_1, mais la conclusion que j'en ai tirée reste la même avec P_1 proportionnel à ρ_1.

ou longitudinales ($\lambda = o$), serait la mesure de la vitesse de propagation. Mais, pratiquement, il serait illusoire, car la méthode de Foucault, la seule possible aux petites distances, ne leur est pas applicable, à cause de l'absence de la réflexion.

« *Conclusions.* — Si donc l'expérience démontre que la réfraction des rayons X n'est pas rigoureusement nulle, les radiations sont transversales, à longueur d'onde infiniment petite : ce sont des *hyper-ultra-violettes*, et les conclusions de ma Note précédente doivent être maintenues. Si, au contraire, la réfraction, est absolument nulle, on doit en conclure que $\lambda = o$, car dans ce cas aussi toutes les propriétés optiques se démontrent théoriquement ; elles seront donc des *radiations limites*. Mais, cela étant démontré expérimentalement, il ne faut pas rejeter l'existence des rayons hyper-ultra-violets. Ils doivent exister. Peut-être par d'autres procédés (phosphorescence des rayons invisibles des sels d'uranium de M. H. Becquerel qui se réfractent et se polarisent), il y a émission de radiations hyper-ultra-violettes, si, je le répète, l'expérience démontre que les tubes de Crookes ne sont pas capables d'en émettre. ».

Sur la résonance multiple des ondulations électriques, par Nils Strindberg (¹).

« On sait en quoi consiste le phénomène de la résonance multiple, découverte par MM. Sarasin et de la Rive. En explorant avec un résonateur hertzien un système d'ondes électromagnétiques stationnaires, on trouve un internœud indépendant de la forme et des dimensions de l'excitateur qui a produit les ondes, et dépendant seulement de la forme et des dimensions du résonateur à l'aide duquel on les observe.

» Dans l'interprétation théorique de ce phénomène qu'ont donnée MM. Poincaré et V. Bjerknes, la loi de Sarasin et de la Rive n'est

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1403 ; séance du 15 juin 1896.

qu'un cas limite se rapportant à une loi plus générale. D'après cette manière de voir, ce qu'on observe est toujours le résultat de la superposition de deux systèmes d'ondes, dont l'un dépend de la période de l'excitateur, l'autre de celle du résonateur ; de ces deux systèmes, le prédominant sera celui qui a le plus petit amortissement. On prévoit donc l'existence de deux cas limites simples et d'un cas intermédiaire plus compliqué :

» 1° L'amortissement du résonateur est petit par rapport à celui de l'excitateur, on observera un internœud dépendant exclusivement de la période propre du résonateur : c'est le premier cas limite où est valable la loi de Sarasin et de la Rive.

» 2° Les amortissements des deux instruments sont du même ordre de grandeur : on trouvera un internœud moins régulier et dans lequel on constate une dépendance de la forme et des dimensions de l'excitateur, ainsi que du résonateur.

» 3° L'amortissement de l'excitateur est petit, relativement à celui du résonateur : on observera un internœud correspondant à la période propre de l'excitateur. C'est le second cas limite où se manifeste une loi diamétralement opposée à la loi de Sarasin et de la Rive.

» Ces conséquences de la théorie peuvent être soumises à l'épreuve expérimentale. Je l'ai fait une fois déjà en mesurant l'internœud, comme l'ont fait MM. Sarasin et de la Rive, à l'aide de l'étincelle secondaire, et j'ai réussi à constater ainsi l'existence des trois cas que nous venons d'énumérer (¹). J'ai obtenu maintenant des résultats plus complets en substituant à l'observation des étincelles l'observation de la chaleur de Joule dégagée dans les résonateurs. De cette manière, j'ai déterminé non seulement l'internœud, mais aussi la forme complète des courbes d'interférence.

» L'instrument dont je me suis servi est l'électro-dynamomètre hertzien un peu modifié : deux fils d'argentan, de 0,02 mm de

(¹) STRINDBERG, *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*, t. XXXII, p. 129 ; 1894.

diamètre et de 10 cm de longueur, tendus parallèlement à 2 mm de distance, se détendent par l'échauffement, quand ils sont traversés par les courants alternatifs du résonateur, et produisent une déviation d'une légère aiguille qui est attachée transversalement aux fils. Ces déviations s'observent à l'aide d'un microscope. Un résonateur où l'on a inséré cet instrument peut être transporté le long des fils conduisant les ondes presque aussi facilement qu'un résonateur à micromètre d'étincelles. Au reste, la disposition expérimentale était la même que celle que j'ai décrite dans le Mémoire cité, sauf que les fils conducteurs avaient 30 m de longueur et que le plan du résonateur était parallèle au plan contenant les fils.

» J'ai obtenu les neuf courbes représentant les résultats de trois séries d'expériences. Dans chaque série, j'ai employé un résonateur invariable; l'excitateur fut arrangé de façon à émettre successivement des ondes aux trois longueurs différentes; ces longueurs et les décréments logarithmiques correspondants je les ai chaque fois déterminés séparément par une méthode directe, où je n'ai pas employé de résonateur.

» Dans le cas n° 1, le résonateur à fil de cuivre a été faiblement amorti tandis que l'excitateur a eu le décrément considérable de 1,1, les fils qui recueillent les ondes passant à 1 cm de distance seulement du fil conducteur de l'excitateur [1]. Dans les expériences, l'excitateur a eu les longueurs d'ondes de 5,6 m, 6,8 m, 9,4 m respectivement. Avec le résonateur, on observe une courbe d'interférence d'un internœud constant de 5,5 m. Dans ce cas, la loi de Sarasin et de la Rive se trouve réalisée rigoureusement.

» Dans le cas n° 2, on a augmenté l'amortissement du résonateur en substituant au fil de cuivre un fil de fer de 0,1 mm de diamètre. Quand l'excitateur émet des ondes de 5,9 m, 6,9 m et 10,0 m de longueur respectivement, la courbe d'interférence obtenue avec le résonateur montre l'internœud 6,4 m, 7,2 m, 8,2 m. Il est évident que la loi de Sarasin et de la Rive, en vertu de laquelle on s'attendrait à trouver un instrument invariable, ne s'applique plus au cas présent; d'autre part, l'internœud diffère aussi considérablement de celui de l'excitateur. On a donc réalisé le cas compliqué où l'influence des deux instruments se fait sentir également.

» Dans le cas n° 3, j'ai diminué le décrément de l'excitateur de 1,1 à 0,5 en choisissant une distance de 5 cm séparant le fil de l'excitateur de celui qui sert à transmettre les ondes [1]. Quand l'excitateur émet des ondes de 5,5 m, 7,5 m, 12,0 m de longueur, la courbe d'interférence obtenue avec le résonateur montre l'internœud 5,3 m, 7,6 m, 11,9 m presque identique à celui de l'excitateur. On a donc très approximativement réalisé le second cas limite qu'exige la théorie, mais qui n'est conforme à la loi des deux savants de Genève que si, dans l'énoncé de cette loi, on transfère à l'excitateur le rôle du résonateur.

» Au point de vue qualitatif, la théorie de MM. Poincaré et Bjerknes se trouve ainsi complètement vérifiée. J'espère approfondir plus tard la question en développant l'équation des courbes d'interférence, ce qui permettra de discuter les expériences au point de vue quantitatif. »

Anomalie magnétique observée en Russie, par Moureaux [2].

» .... Le 12 et le 13 juin, j'ai constaté une anomalie extraordinaire, la plus grande qui ait été étudiée jusqu'ici. Sur le territoire d'un village qui se nomme Kotchetovka, situé dans l'arrondissement d'Obojaune, à 30 km environ au sud-sud-est de cette ville, par 51° de latitude et 6° 8′ de longitude est de Poulkowa, j'ai déterminé les trois éléments en quinze points compris dans une étendue d'un kilo-

[1] V. BJERKNES, *Archives de Genève*, t. XXVI, p. 297 : 1891 ; *Bihang till. k. swinska velenskapsakademiens handlingar*, t. XX, Afd. I, n° 5, § 72 ; *La Lum. Électrique*, t. XLII, p. 593.

[1] V. BJERKNES, *loc. cit.*

[2] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1478 ; séance du 22 juin.

mètre carré environ. Les valeurs extrêmes observées sont :

Déclinaison	+ 58° et — 43°
Inclinaison	79° et 48°
Composante horizontale	0,166 et 0,589

» Ces différences sont excessives ; mais ce qui est plus particulièrement remarquable, c'est que la composante horizontale atteint ici une valeur de beaucoup supérieure au maximum de la région équatoriale du globe, qui n'atteint pas 0,4 ; comme l'inclinaison en ce point ne s'abaisse pas au-dessous de 48°, il en résulte que la force magnétique y atteint une valeur énorme.

» Ce nombre de 0,589 pourra sembler invraisemblable ; je l'ai contrôlé par six autres mesures en des points voisins, et qui m'ont donné des valeurs variant de 0,48 à 0,58. J'ai précisé, autant que je l'ai pu, le foyer de cette anomalie ; le temps me manque pour en fixer les limites.

» Tout le pays est d'ailleurs troublé à un haut degré ; des 75 stations dont je possède actuellement des observations des trois éléments, il y en a très peu dont les valeurs soient normales.

» A Potrovskojé, autre village à 15 km au sud du premier, j'ai trouvé : $D = +52° 56'$, $H = 0,09$, $I = 81° 45'$; j'ai voulu alors savoir si cette valeur de l'inclinaison était maximum, et je me suis transporté dans la direction du nord magnétique, en observant fréquemment cet élément, jusqu'à le voir diminuer. Le maximum a été 82° 13' ; à ce point précis, j'ai mesuré de nouveau la composante horizontale, elle est seulement de 0,079.

» J'emploie constamment le même barreau pour toutes les observations ; les déviations produites par ce barreau, qui n'étaient que de 7°22' à Kotchetovka, ont atteint 72°23' à Pokrovskojé.... »

Rotation de la cathode d'un tude de Crookes, par Francis E. Nipher (¹).

L'auteur signale un fait curieux montrant une réaction de la décharge cathodique sur la cathode elle-même. Se servant d'un tube dont le disque cathodique pouvait, accidentellement, tourner autour du fil métallique qui le portait, il a constaté que ce disque se mettait à tourner sous l'influence de la décharge, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant l'extrémité du tube où le fil support était soudé à la paroi. La vitesse de rotation n'était ni augmentée ni diminuée par un aimant placé dans une position quelconque dans le voisinage du tube, bien que, comme on le sait, les rayons cathodiques tendent à tourner en hélice autour des lignes de force magnétique. En employant une machine de Holtz, on observait une rotation plus rapide, à la condition toutefois qu'il existe un espace d'air entre les pôles de la machine et les extrémités du tube.

Lorsque le disque était employé comme anode, aucune rotation ne se manifestait. Il en était de même lorsque, le disque servant de nouveau de cathode, on opérait dans l'air à la pression atmosphérique ou encore dans un vide extrêmement élevé.

Dans le tube employé par l'auteur l'anode était constitué par un fil fixé perpendiculairement à la cathode ; peut être le phénomène observé est-il dû à cette disposition.

J. B.

(¹) *Trans. Acad. Sc. of Saint-Louis.*

Rayons cathodiques et rayons X, par Silvanus P. Thompson (¹).

« Quelques expériences que je fais en ce moment dans le but de trouver quelles relations existent entre les rayons cathodiques et les rayons X, m'ont donné un résultat qu'il me paraît utile de publier sans délai pour le bénéfice des savants qui travaillent cette question. Ayant construit un tube avec une anticathode ou « réflecteur » de platine oblique, qu'on emploie généralement maintenant, pour recevoir le choc des rayons cathodiques et engendrer des rayons X, et ayant placé intérieurement un fil d'aluminium sur le trajet

(¹) Lettre adressée à *The Electrician* le 25 juin.

de ces derniers rayons, j'ai trouvé qu'avec un vide suffisamment élevé il se produisait deux images : une image par les rayons X sur un écran fluorescent extérieur au tube, et une image par les rayons cathodiques (crookesiens) sur la paroi de verre du tube. Ces images avaient, l'une et l'autre le « réflecteur » comme origine ; mais tandis que l'image par les rayons cathodiques pouvait être déviée par un champ électrostatique ou un champ magnétique, l'image par les rayons X ne subissait aucune déviation même quand le fil d'aluminium intérieur au tube était électrisé soit positivement, soit négativement. Une légère variation de l'image par les rayons X suivait tout petit changement dans l'origine apparente de ces rayons, lorsque la décharge cathodique tombait plus d'un côté ou d'un autre du « réflecteur » de platine. A aucun degré de vide le « réflecteur » ne convertissait tous les rayons cathodiques en rayons X ».

Sur la résistivité électrique du bismuth dans un champ magnétique, par James Dewar et J.-B. Fleming.

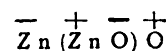
D'une lettre adressée le 18 juin à la Royal Institution et d'une autre adressée le 20 juin à *The Electrician*, il résulte que, d'après des recherches récentes des auteurs, l'accroissement de résistance qu'éprouve le bismuth sous l'action d'un champ magnétique est beaucoup plus grand aux basses températures fournies par les gaz liquéfiés qu'à la température ordinaire.

Le fil de bismuth électrolytique avait une résistance de 1,46 ohm à 19° C quand il n'était pas dans un champ magnétique. Placé transversalement dans un champ de 14 150 unités C.G.S sa résistance devenait 2,34 ohms, soit 1,6 fois la valeur précédente. Si le même fil était plongé dans de l'air liquéfié et ainsi refroidi à — 186° C, sa résistance tombait à 0,53 ohm. En le plaçant alors transversalement dans le champ magnétique employé précédemment, sa résistance devient immédiatement 22,4 ohms, soit 42,2 fois plus grande. Le bismuth refroidi à — 186° et soumis à l'action du champ magnétique a donc une résistance 15,3 fois plus grande qu'à 19° C sans champ magnétique. Il y a, par suite une température pour laquelle la résistance du bismuth soumis a l'action d'un champ est la même que celle qu'il possède à la température ordinaire étant soustrait à l'action du champ.

J. B.

Recherches expérimentales sur l'électricité de contact, par C. Christiansen (¹).

Dans un Mémoire précédent, (*Écl. Élec.*, t. VII, p. 138), M. Christiansen a montré que la présence de l'oxygène est nécessaire pour qu'on puisse établir une différence de potentiel entre le mercure pur d'une part, les amalgames de zinc, de cadmium, de plomb et d'étain d'autre part. Il se forme une combinaison entre l'oxygène et ces métaux et on représenterait probablement le phénomène par un schéma tel que :



$$\overset{-}{Zn}\,(\overset{+}{Zn}\,\overset{-}{O})\,\overset{+}{O}$$

On aurait ainsi une couche double dans laquelle l'oxyde de zinc jouerait le rôle d'isolant. Il ne suffirait pas d'admettre simplement une oxydation du zinc, car l'oxyde de zinc occupe un rang trop bas dans la liste des tensions : le phénomème est plutôt une véritable polarisation chimique. Il serait très difficile de mesurer cette polarisation en valeur absolue. L'auteur a préféré étudier l'action de différents gaz : gaz chlorhydrique, sulfureux, sulfhydrique et protoxyde d'azote.

1. *Gaz chlorhydrique et zinc.*— Bien que le gaz fût pur et sec, les résultats ont été très variables : vraisemblablement le gaz chlorhydrique ne polarise pas l'amalgame de zinc, mais seulement le mercure pur et l'électrode en charbon. Quoiqu'il en soit la polarisation est déjà forte, même avec des amalgames très pauvres en zinc, (1/80000) : elle est voisine de 1 volt.

(¹) *Wied. Ann.*, LVII, p. 682.

2. *Gaz chlorhydrique, oxygène et zinc.*— La présence du gaz chlorhydrique entrave l'action polarisante de l'oxygène, car si après avoir fait l'expérience dans le gaz chlorhydrique, on remplace celui-ci par de l'air, on ne trouve plus qu'une très petite différence de potentiel ; ceci tient au gaz chlorhydrique dont les électrodes en charbon sont restées imprégnées, car la différence de potentiel reprend sa valeur primitive (correspondant à l'oxygène), quand les électrodes ont été portées à l'incandescence.

L'acide azotique et l'acide acétique agissent comme l'acide chlorhydrique : l'ammoniaque et l'acide sulfurique ne donnent rien de pareil.

L'action polarisante du gaz chlorhydrique sur les amalgames d'étain, de plomb, de cadmium, de sodium, de potassium est à peu près du même ordre de grandeur que celle de l'oxygène : mais on ne peut affirmer que le maximum de polarisation ait été atteint dans les expériences, quoique ce soit très vraisemblable.

3. *Différence de potentiel entre les métaux et le mercure dans le gaz chlorhydrique.*— Les métaux étudiés servent de plaques électrodes : ils sont polis à l'émeri sauf le plomb qui est gratté avec un couteau. A l'exception du cuivre, tous les métaux occupent un rang moins élevé dans la série des tensions, lorsqu'ils se trouvent dans une atmosphère de gaz chlorhydrique.

4. *Il en est de même dans le gaz sulfureux sauf pour le cuivre et le fer.*— Le gaz sulfureux polarise fortement l'amalgame de zinc, beaucoup moins l'amalgame de cadmium et paraît sans action sur celui d'étain. Au contraire le protoxyde d'azote polarise peu l'amalgame de zinc.

L'auteur conclut de ses expériences que la différence de potentiel entre le mercure et les amalgames s'annule quand ils se trouvent dans une atmosphère inerte : l'action chimique du gaz ambiant joue donc un rôle dans le phénomène, sans que ce rôle puisse encore être bien défini. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Les rayons X et la photographie à travers les corps opaques, par Ch. Ed. Guillaume, docteur ès sciences, adjoint au bureau international des poids et mesures, un vol. in-8° de 144 pages et 8 planches hors texte, *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs. Prix : 3 fr.

En signalant dans notre numéro du 2 mai la première édition de cet ouvrage nous en annoncions la seconde ; c'est dire que ce petit volume est maintenant entre les mains de tous ceux qui s'occupent des rayons X, et beaucoup de nos lecteurs trouveront sans doute qu'il est bien inutile de donner une analyse d'un ouvrage qu'ils connaissent déjà ; exécutons-nous cependant en faveur du plus petit nombre.

Après nous avoir initié au monde des molécules matérielles et éthériques dans deux chapitres respectivement « l'État gazeux » et « la Lumière » et avoir fait ressortir dans un court chapitre consacré à « l'Electrolyse » la possibilité que possèdent les particules matérielles de traverser les corps solides sous certaines influences particulières, l'auteur aborde l'étude des « Décharges dans les gaz ».

M. Guillaume divise cette étude en deux périodes. Dans la première, il place les travaux de Faraday, Abria, M. Fernet, Gassiot, Hittorf, etc. et les recherches importantes de M. Crookes et de M. Goldstein. Toujours soucieux de la vérité historique, il fait observer que c'est à tort que l'on attribue généralement à M. Crookes la majeure partie des recherches de la première heure sur les décharges dans les gaz sous très faible pression ; en réalité, un grand nombre des propriétés de ces décharges avaient déjà été découvertes par Hittorf et M. Goldstein a aussi plusieurs antériorités importantes sur M. Crookes.

Au début de l'exposé des travaux de la seconde période, qu'il fait commencer vers 1893, M. Guillaume résume en quelques pages les idées théoriques émises alors sur la nature des rayons cathodiques : la théorie du bombardement moléculaire de Crookes adop-

tée par les savants anglais, la théorie énergétique, émise par M. Goldstein, précisée par M. E. Wiedemann, appuyée par Hertz et fort en faveur en Allemagne, d'après laquelle les rayons cathodiques seraient dues à un mouvement transversal de l'éther, la théorie du mouvement longitudinale de l'éther développée récemment par M. Jaumann, et enfin la théorie des ions dissociés de M. J. J. Thomson. Ce résumé est suivi de l'analyse des recherches de MM. Lenard, Wiedemann, J. J. Thomson, que nos lecteurs trouveront décrites en détails dans les derniers volumes de la *Lumière Électrique*.

Le chapitre suivant, « les rayons X », contient l'analyse du mémoire de M. Roentgen et des nombreux travaux qui ont suivi presque immédiatement la publication de ce mémoire. Dans la multitude de faits amoncelés en quelques semaines par des chercheurs consciencieux mais quelquefois très ignorants de la façon méthodique dont doivent être conduites les recherches scientifiques, M. Guillaume a sû démêler, avec une rare justesse de vues, ceux qui sont nettement établis de ceux qui sont sujets à la critique; son mérite est grand, surtout qu'à l'époque où il écrivait sa première édition (mars) le choix était fort embarrassant.

Ce chapitre est suivi d'un « Essai de théorie » dans lequel l'auteur réfute les objections qui ont été faites à l'hypothèse d'un bombardement moléculaire, et semble adopter les idées de M. J. J. Thomson sur les rayons cathodiques. Quant aux rayons X eux-mêmes il est conduit à les considérer comme dûs à des vibrations transversales de l'éther de très faibles longueurs d'onde prenant naissance aux points qui sont frappés par les rayons cathodiques.

Dans le chapitre suivant « Applications », M. Guillaume décrit la technique opératoire pour l'obtention des radiographies ou la vision directe au moyen des écrans luminescents et indique sommairement les résultats obtenus par l'application des rayons X, à la chirurgie principalement. Il examine ensuite, dans un dernier chapitre « Phénomènes divers » les phénomènes qui ont quelque analogie par leurs effets avec les rayons X : l'action de l'effluve, la lumière noire, l'action chimique, les radiations émises par les corps phosphorescents.

Dans un appendice, qui ne se trouvait pas dans la première édition, l'auteur indique quelques expériences à faire qui lui paraissent utiles pour préciser nos idées sur la nature des rayons X.

Nous n'avons pas besoin de dire que tout l'ouvrage est écrit avec une profonde érudition et une parfaite connaissance du sujet ; de son côté, l'éditeur a mis tous ses soins à maintenir la partie matérielle à la hauteur de la partie intellectuelle : l'ouvrage est fort bien imprimé et, outre de nombreuses figures dans le texte, il contient huit planches de photographies hors texte, fort bien venues. C'est plus qu'il nous faut pour engager les retardataires à mettre ce volume dans leur bibliothèque.

J. Blondin.

Manuel pratique de radiographie par l'emploi des rayons X et applications de la découverte du Dr Roentgen, par Georges Brunel. Un volume de 32 pages ; *Bernard Tignol*, éditeur, 33 bis, quai des Grands-Augustins. — Prix : 1 fr.

Plus modeste que le précédent, ce petit ouvrage est, comme le dit l'auteur dans sa préface, destiné aux amateurs.

Ceux-ci étant rares parmi nos lecteurs, nous bornons à leur signaler ce manuel.

Manuel de galvanoplastie, par Georges Brunel. Un volume de 163 pages, *Bernard Tignol*, éditeur.

Encore un ouvrage du même auteur et de la même Bibliothèque des actualités industrielles. Comme il est destiné aux praticiens aussi bien qu'aux amateurs arrêtons nous-y quelques instants.

Dans la première partie, l'auteur décrit les diverses sources d'électricité employées en galvanoplastie (piles, dynamos, accumulateurs), et les divers modes de moulage.

La seconde est consacrée à la description

des procédés utilisés pour obtenir un dépôt métallique adhérent (dorure, argenture, cuivrage, nickelage, etc.). L'auteur l'intitule *Electrochimie*. Nous ne voyons guère la raison de ce titre qui pourrait faire croire que l'auteur classe en dehors de l'*Electrochimie*, les applications importantes de l'électricité à la préparation du chlore, de la soude, de la céruse, etc., et au traitement des jus sucrés, des alcools, etc.

Enfin dans la troisième partie, nous trouvons les procédés pour l'obtention des dépôts par simple immersion, des formules et des recettes le tableau des unités électriques et quelques tableaux de constantes.

Les praticiens trouveront-ils des renseignements nouveaux dans cet ouvrage ? Nous l'espérons, mais n'osons l'affirmer.

Causerie et réflexions sur l'électricité, en 1895, par PAULIN VIAL. — Un vol. de 82 pages ; *Aug. Mollaret*, imprimeur, à Voiron, en Dauphiné.

Ce volume s'adresse aux gens du monde et paraît bien remplir son but.

Contrairement à ce qu'on pourrait augurer de son titre, cet ouvrage n'est pas un compte rendu des découvertes et applications électriques faites en 1895 ; c'est un exposé succint de l'électricité dans lequel l'auteur décrit les diverses sources d'électricité et leurs applications.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Berlin. — Traction. — On procède actuellement à Berlin à la pose des rails d'une ligne de tramways électriques qui entourera la partie centrale de la ville et desservira 10 stations. La voie, construite en rails Vignol reliées électriquement par plusieurs tours de fil de cuivre, aura 1 mètre de largeur et sera au niveau du sol sur tout le parcours, excepté au croisement avec la ligne aérienne de chemin de fer où elle sera en contre-bas.

L'énergie électrique, produite par deux stations centrales situées à environ 300 mètres de la ligne, sera distribuée par un fil aérien en bronze silicieux suspendu au-dessus de la voie aux isolateurs montés sur les bras des pylônes. La tension sera de 500 volts sur toute la ligne.

Le nouveau réseau sera desservi par 17 couples de deux voitures, dont l'une motrice et l'autre de remorque, pouvant contenir chacune 45 voyageurs. Les deux moteurs de la voiture motrice sont commandés simultanément par un seul jeu d'appareil dont chacune des deux plate-formes est munie. L'éclairage des voitures sera constitué par 5 lampes à incandescence dont trois à l'intérieur et une aux fanaux d'avant et d'arrière des voitures. Toutes ces lampes seront alimentées par le courant de la ligne. Plusieurs des stations sont déjà construites, on espère qu'avant peu cette nouvelle ligne sera livrée au trafic.

Fresno (Californie). — Transport de force. — La station centrale destinée à fournir de l'énergie électrique à la ville de Fresno est presque entièrement terminée. Cette transmission par courants polyphasés est considérée comme la plus longue et la plus intéressante sous beaucoup de rapports, de celles qui ont été installées dans un but commercial.

La station génératrice construite sur le North Fork, un des bras de la rivière San Joaquin, dans le comté de Madeira, est distante de Fresno d'environ 56 kilomètres. Pour utiliser les eaux de cette rivière et produire la quantité d'énergie que l'on s'était fixé, on a creusé un canal qui, partant du point où le North Fork se sépare du cours d'eau principal, amène les eaux du San Joaquin au déversoir du North Fork. Ce canal d'une longueur totale de 11 263 km a une pente d'environ 1,20 m par kilomètre. Pendant les plus basses eaux, le débit total des deux cours d'eau fournit plus de 7000 chevaux utilisables à l'axe des turbines. En outre, les vannes d'accès aux turbines ont été placées à un niveau de beaucoup inférieur à celui qu'atteint la surface congelée pendant les plus grands froids afin d'assurer un fonctionnement ininterrompu.

L'installation hydraulique comprend trois roues Pelton d'un diamètre de 1,45 m pouvant développer chacune 500 chevaux à 600 révolutions par minute avec une chute effective de 47 mètres. Les trois générateurs de courant triphasé seront montés directement sur l'axe des roues hydrauliques et auront une capacité de 350 kilowatts chacun ; les machines d'excitation seront mues par d'autres roues Pelton indépendantes des premières

Le courant produit sera transformé en courant

de haute tension à 12 000 volts qui sera transmis par une ligne aérienne, déjà installée, à une sous-station située à environ 2 km de Fresno et dont les transformateurs ramenèrent la tension à des voltages différents selon le genre d'utilisation. Une partie de ce courant, transformée à 200 volts, sera distribuée dans le centre industriel de la ville ; les conducteurs principaux du réseau d'éclairage privé auront du courant à 1 000 volts dans les circuits primaires et 150 dans les secondaires. Le reste de l'énergie sera transformé à 3 000 volts pour être utilisée comme force motrice par de nombreuses usines se trouvant dans un rayon de 16 km de la sous-station.

Tout le courant produit sera utilisé comme courant triphasé, déjà la Compagnie des Eaux de la ville de Fresno a fait installer un moteur à courant triphasé d'une force de 75 chevaux pour actionner plusieurs pompes d'alimentation.

L'installation électrique de la station génératrice sera terminée sous peu. On compte encore quelques semaines avant de mettre cette importante transmission de courant triphasé en exploitation.

Los Angeles (*Amérique*). — *Traction*. — Le chemin de fer électrique circulaire reliant Los Angeles à Santa Monica Brach vient d'être inauguré avec un plein succès. Le dimanche qui suivit l'inauguration les trains furent littéralement pris d'assaut. Comme en Amérique les règlements permettent les surcharges, les voyageurs s'étaient empilés un peu partout dans les fourgons, sur les marchepieds et même sur le toit des wagons où on se disputait la place quelque peu confortable qu'elle fût.

Hartlepools (*Angleterre*). — *Traction*. — La conversion de la ligne de tramways à vapeur de Hartlepools en tramways électriques est terminée depuis quelque temps déjà. La ligne, a été ouverte au trafic le 19 mai dernier. Cette ligne créée en 1884 fut desservie par des tramways à vapeur jusqu'en 1891, époque où les frais occasionnés par les nombreuses réparations du matériel en service en fit abandonner l'exploitation. En 1895 la Compagnie Générale des tramways se rendit acquéreur de cette ligne dans le but de l'équiper avec des tramways électriques et système aérien à trôlet.

La nouvelle ligne longue de 4 km est à une seule voie de 1,25 m de large avc 16 points de croisements sur son parcours. Le maximun de la rampe est de 2,40 cm et le plus petit rayon de courbe de 120 m.

La station génératrice est presque équidistante des deux extrémités de la ligne. L'équipement de cette station comprend deux moteurs Willans d'une puissance indiquée de 100 chx chacun couplés directement à deux dynamo produisant chacune 120 ampères à 500 volts. Ces machines ont été calculées pour supporter des excès momentanés de courant de 50 pour 100 de la charge normale; l'armature est enroulée d'après Eiekmeyer, les masses polaires sont à enroulement compound. Le rendement commercial de chacune des dynamos est de 93 pour 100; celui du moteur à vapeur et de la dynamo conbinés est d'environ 84 pour 100. De ces deux groupes générateurs, un seul suffit au service de la ligne, l'autre sert de réserve.

En raison du petit nombre de moteurs alimentés par le courant de l'usine, il arrive fréquemment que les 5 voitures qui desservent la ligne sont arrêtées presque en même temps et il en résulte une grande irrégularité de consommation d'énergie. En prévision de ce cas on a installé un survolteur, lequel, monté en dérivation sur la ligne, emploie le courant inutilisé pour charger une batterie d'accumulateurs qui sert à l'éclairage de la station et à actionner un petit moteur à 100 volts monté sur la pompe d'alimentation des chaudières.

Le tableau de distribution placé dans la salle des machines porte les commutateurs, coupe-circuits et appareils de mesure servant à la distribution de l'énergie. Le système d'alimentation sur la ligne étant à deux circuits, chacun d'eux est muni d'un coupe-circuit automatique et d'un plomb fusible enfermé dans un petit cylindre de verre ; les extrémités de ce plomb portent chacune un petit ressort qui établit les connexions et permet d'opérer le remplacement très rapidement.

Entre les bornes de chaque coupe-circuit automatique on a intercalé une résistance pour une intensité de 60 ampères qui, lorsque l'excès de courant ouvre le commutateur, laisse passer la moitié du courant normal sur la ligne. Cette disposition a pour but d'éviter les emballements de la machine lorsque les voitures parcourant un même circuit s'arrêtent à la fois.

Le courant est distribué sur la ligne par deux câbles aériens formant deux circuits dont l'un sert aux voitures descendantes et l'autre aux voitures montantes. Ces deux circuits constitués par deux câbles en fil de cuivre sont supportés par des

pylônes et réunis en deux points afin d'équilibrer la charge sur toute la ligne.

Les pylônes, sans ornements d'aucune sorte, ont une hauteur de 9 m et sont placés à une distance de 40 m les uns des autres, sur un des côtés de la voie, à un écartement de 7 m. Les câbles sont suspendus à des isolateurs fixés aux bras des pylônes. La perche du trôlet est articulée sur un support fixé sur un des côtés du toit des voitures où se trouve l'impériale et ne nuit en aucune façon à l'occupation des sièges de cette dernière.

Les rails constituent le retour commun aux deux circuits et, à cet effet, sont reliés électriquement par une plaque de cuivre rivée sur chacune des extrémités inférieures de chaque tronçon de rail ; la traverse qui supporte cet assemblage est creusée pour le logement de la plaque de connexion, le trou est ensuite rempli de bitume coulé à chaud.

Les deux conducteurs, reliant la ligne avec la station générale, sont d'une longueur d'environ 45 m et se compose l'un, celui d'aller, de 4 câbles isolés dont deux pour chacun des circuits, et l'autre d'un seul câble armé ; chacun de ces deux conducteurs est logé dans deux caniveaux souterrains assez distants l'un de l'autre pour éviter toute fuite de courant ou tout danger de court circuit.

Conformément aux règlements du Board of Trade, la station est pourvue d'un voltmètre enregistreur, d'un indicateur de fuites et des appareils de mise à la terre en nombre équivalent à l'importance de la station.

Le trafic est assuré par 5 voitures pouvant contenir chacune 20 voyageurs à l'intérieur et 16 sur l'impériale. Le moteur monté sur le truck de chaque voiture est protégé par une enveloppe en acier, munie à sa partie supérieure d'une trappe, laquelle s'ouvrant de l'intérieur de la voiture permet d'accéder au moteur et d'en visiter tous les organes. Le collecteur est divisé en 72 sections ; les balais en graphite sont au nombre de 4 et sont maintenus en contact par des ressorts.

Les pignons et roues du jeu d'engrenage à simple réduction sont en acier coulé et logés dans une enveloppe hermétique, ils tournent dans l'huile. Le rendement maximum des moteurs est de 83 pour 100 et pour une série de vitesse variable de 80 pour 100. La vitesse normale de rotation de ces moteurs est 600 révolutions par minute, ce qui fait pour les voitures une vitesse normale de 12 km à l'heure.

Chaque voiture est munie de 6 lampes à incandescence pour l'éclairage intérieur et extérieur et de deux contrôleurs, dont un sur chaque plateforme, commandant tous deux les mouvements de la voiture. Le rhéostat consiste en 40 spires en platinoïde, enfermées dans des gaînes d'amiante, puis logées chacune dans un tube en cuivre fermé par une rondelle d'ardoise percée d'un trou pour le passage du fil se rendant à l'une des 21 touches de contact qui composent le commutateur de régulation et d'arrêt.

Cette nouvelle ligne qui est équipée avec les appareils les plus récents et les plus perfectionnés, fonctionne à l'entière satisfaction des innovateurs et du public.

Lowell (Michigan). — Transport de force. — Une importante transmission de force à grande distance a été récemment installée dans l'est du Mississipi à Lowell par la Lowell Water and Light Company. La station génératrice est située à environ 2 km de la ville sur le Flat River un des affluents du Mississipi et possède actuellement trois turbines, dont deux Leffel et l'autre d'un nouveau modèle, de construction américaine. Toutes trois développent une puissance de 300 chevaux et actionnent ensemble un alternateur d'une capacité de 260 kilowatts et son excitatrice. Le mode de couplage des trois turbines permet de supprimer l'une ou l'autre de l'axe d'entraînement sans arrêter la marche du générateur. Ce dernier fournit du courant à 1 000 volts dont une faible partie est employée sous cette tension à Lowell pour l'éclairage et la force motrice ; la majeure partie de l'énergie produite est transformée de 1 000 à 10 000 volts pour être transmise par câbles aériens à Grand-Rapids ville éloignée d'environ 29 km de Lowell. Là la tension est ramenée à 2 000 volts pour l'utilisation, lumière ou force motrice indifféremment.

Le tableau de distribution à la station de Lowell est muni de tous les appareils employés pour les courants de haute tension. En outre, le générateur est pourvu d'un dispositif régulateur permettant d'élever ou d'abaisser le voltage dans l'une des phases sans affecter l'autre, de sorte que l'on peut mettre la charge du circuit de Lowell sur l'une ou l'autre des phases et maintenir un voltage régulier à Grand-Rapids. La ligne aérienne est constituée par 4 câbles pour hautes tensions supportés par des poteaux distants d'environ 35 m les uns des autres. Les câbles sont élevés du sol de 10 m et sont fixés

sur des isolateurs triples montés sur deux traverses portant chacune deux câbles. Chaque poteau est muni d'un paratonnerre dont le conducteur est mis à la terre. Cette transmission qui fonctionne avec régularité a pleinement rempli le but que l'on s'était proposé et compte pour une des plus importantes transmissions d'énergie électrique de cette contrée.

Montréal (Canada). — Transport de force. — Une puissante station hydraulique située sur les bords du Saint-Laurent va être prochainement modifiée; la puissance hydraulique qui, au moment des plus basses eaux est de 15 000 chevaux, sera transformée en énergie électrique.

Les turbines de la nouvelle usine actionneront 12 alternateurs à courants polyphasés produisant ensemble 12 000 chevaux.

Cette énergie sera transmise à Montréal et servira à l'alimentation des réseaux de traction, d'éclairage et de transport de force.

New-York. — Traction. — Nous apprenons que la New-York et Harlem Railroad Company qui possède plusieurs lignes de tramways en cours d'exploitation se propose de créer une nouvelle usine de batteries d'accumulateurs pour remplacer celles déjà existantes et servant à la traction sur les lignes de la 4e avenue et sur la ligne élevée de Madison-Avenue. Les accumulateurs actuellement en service sont du type Julien disposés sur les voitures d'une façon analogue à celle adoptée pour quelques lignes en service à Paris.

Les nouveaux accumulateurs fournis par la Electric Storage Battery C° de Philadelphie sont au chlorure et ne sont pas comme ceux de l'ancien modèle, logés sous les banquettes des voitures. Les éléments constituant la batterie nécessaire à l'actionnement des moteurs sont rangés à poste fixe dans une grande caisse métallique mobile suspendue entre les deux essieux de la voiture. La charge de ces batteries s'opère à la station. Le remplacement sur les voitures d'une batterie épuisée par une nouvelle charge s'accomplit en quelques instants. A cet effet un support monté sur des galets, roulant sur une petite voie installée entre les rails du tramway est poussé sous la voiture, la caisse contenant la batterie est délivrée de ses tenons d'attache et vient reposer sur le support qui sert à la conduire au lieu de charge. La nouvelle batterie est alors amenée et fixée sous la voiture par une opération inverse ; les connexions se trouvant immédiatement établies, la voiture est prête à reprendre son service.

Nicolaieff (Russie). — Transport de force. — Les travaux d'installation des importants chantiers de construction mécanique, dont nous avons annoncé les détails dans notre numéro du 9 mai 1896 sont activement poursuivis ; on se rappelle que toutes les machines-outils seront mues électriquement. On nous informe qu'à part les génératrices toute l'installation électrique a été confiée à la Compagnie Internationale d'Électricité de Liège.

Stettin (Allemagne). — Traction. — Le projet d'installation du réseau des tramways électriques de la ville de Stettin vient d'être définitivement adopté par le conseil municipal. L'ingénieur de la Allgemeinen Elektricitats-Gesellschaft de Berlin, représentant la Compagnie concessionnaire, a remis le traité aux autorités municipales ainsi que les plans et devis relatifs à l'installation générale du réseau.

La station centrale qui sera construite près du dépôt d'Oberwiek comprendra trois moteurs à vapeur d'une puissance de 225 à 300 chevaux au maximum chacun, couplés par groupe de deux à trois dynamos à courant continu et à enroulement compound d'une capacité de 200 kilowatts chacune. Le courant après avoir traversé les appareils de mesure du tableau de distribution sera réparti aux moteurs des voitures par un câble aérien en bronze siliceux suspendu à une hauteur de 6 m aux bras des pylônes, ces derniers seront écartés les uns des autres de 40 m excepté dans les courbes où ils seront plus rapprochés.

La prise de courant s'opèrera au moyen d'un trôlet dont chaque voiture motrice sera munie et qui établira les connexions avec 2 moteurs de 25 chevaux montés sur le truck de la voiture ; les rhéostats et appareils de manœuvre seront disposés sur chacune des deux plate-formes. Chaque voiture sera éclairée au moyen de 5 lampes à incandescence dont trois à l'intérieur et une sur chaque plate-forme.

Le nouveau réseau, qui aura une longueur totale de 36 kilomètres, sera desservi par 38 voitures motrices et autant de voitures de remorque constituées par les voitures des anciens tramways à traction animale qui seront modifiées pour être affectées à cet usage. Le départ des voitures sur les lignes ordinaires sera fixé à 10 minutes d'intervalle et à 5 sur les lignes très fréquentées.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

Le programme des réunions est ainsi fixé.

Mardi 4 Août.

Dès 9 h. du matin le Bureau du Congrès sera ouvert dans le bâtiment de l'Université pour la distribution des cartes de fête et les renseignements à donner aux membres du Congrès.

4 h. du soir. — Grande salle de l'université, séance d'ouverture, éventuellement division en sections.

Mercredi 5 Août.

8 h. du matin. — Grande salle de l'Université : Séance du Congrès.

Dès 2 h. après-midi. — Visite à l'Exposition ou aux Usines de la Ville de Genève.

8 h. du soir. — Réception offerte au Palais Eynard par les membres genevois du Congrès.

Jeudi 6 Août.

8 h. du matin. — Grande Salle de l'Université : Séance du Congrès.

Dès 2 h. après-midi. — Visite à l'Exposition ou aux Usines de la Ville de Genève.

7 h. du soir. — Banquet officiel.

Vendredi 7 Août.

Course en bateau sur le lac Léman. — Déjeûner à Montreux. — Visite aux installations électriques de Vevey-Montreux. — Excursions diverses facultatives : Château de Chillon, Chemin de fer à crémaillère des Rochers de Naye, altitude 2064 métres.

Samedi 8 août.

9 h. du matin. — Pavillon Raoul Pictet. — Séance du Congrès suivie d'une conférance de M. Raoul Pictet sur l'influence des basses températures sur la conductibilité des métaux et sur l'effet des rayons cathodiques.

2 h. après-midi. — Grande salle de l'Université : Séance générale du Congrès.

Dimanche 9 Août.

De 3 h. à 6 h. — Réception des membres du Congrès par l'Etat et la Ville de Genève à l'Ariana.

Nous rappelons que les sujets qui sont mis spécialement à l'ordre du jour du Congrès sont les suivants:

a) Unités magnétiques et leur nomenclature.

b) Unités photométriques et leur momenclature.

c) Transport et distribution de l'énergie à grande distances par l'emploi des :

1° Courants continus.

2° Courants alternatifs.

d) Protection des lignes à haute tension contre les décharges atmosphériques.

e) Perturbations diverses dues à la traction électrique.

Le prix de la carte de fête donnant droit à participer au Congrès suivant le programme ci-dessus ainsi qu'à toutes les publications du Congrès est fixé à 20 fr. Prix de la carte de fête pour dames accompagnant les Membres du Congrès, 15 fr.

Les participants au Congrès sont priés de s'assurer des logements à l'avance en s'adressant directement, avant le 1er août : au Bureau officiel des logements de l'Exposition, Genève.

Indiquer dans la demande de logements la qualité de participant au Congrès. — Des renseignements seront transmis à cet égard à tous les adhérents au Congrès.

DIVERS

La lumière éthérique. — Au 105e meeting de l'*American Institute* qui eut lieu le 22 avril dernier, M. Mac Farlan Moore, de Newark, a fait une communication sur les récents progrès de l'éclairage par tubes à vide et a complètement illuminé la salle à l'aide de ces tubes suspendus horizontalement sous forme d'une double galerie entourant la cimaise. Il n'a pas été permis jusqu'à présent de comparer les valeurs relatives de la lumière éthérique à la lumière à incandescence, mais bien que ce nouveau mode d'éclairage soit encore à ses débuts M. Moore n'en a pas moins obtenu des résultats très intéressants. Les dispositifs employés sont, paraît-il, presque entièrement nouveaux. Il est à remarquer cependant que le système se prête à un mode de distribution ordinaire et simple ; les appareils de M. Moore se branchent sur le secteur de la distribution et peuvent s'appliquer dans tous les cas où l'on fait passer l'effet à obtenir avant la dépense.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris. — Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard.

Tome VIII — Samedi 11 Juillet 1896 — 3e Année. — N° 28

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

MESURE DIRECTE DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE MOYENNE SPHÉRIQUE

But de cette note. — Pendant longtemps la seule méthode employée pour la mesure de l'intensité moyenne sphérique ou mésosphérique [1] des sources de lumière a été la méthode de M. Allard, ingénieuse, mais lente et peu exacte par suite de variations progressives de la répartition de la lumière pendant une série de mesures. Personne n'avait cherché encore à s'en affranchir lorsque j'ai montré, dans ce journal, il y a plus d'un an [2], qu'il était facile d'arriver au même résultat par des méthodes nouvelles réduisant les mesures à une seule lecture.

Mon premier appareil, dit *Lumenmètre*, qui a été construit par MM. Sautter Harlé, a été présenté à la Société des Électriciens le 1er mai 1895 par M. Jean Rey qui a rapporté à ce sujet ses essais personnels sur l'instrument. Depuis cette époque, il fonctionne d'une manière parfaitement pratique et satisfaisante, et j'ai eu occasion déjà à plusieurs reprises de faire connaître des résultats obtenus par son emploi.

Je me propose d'en faire ici connaître un autre applicable spécialement à l'arc électrique et qui, tout en partant de la même idée, repose sur des principes différents. Dans le lumenmètre on recueille un flux lumineux, fraction connue du flux total, et on le mesure; dans l'appareil que je vais décrire sous le nom de *Photomésomètre*, on appliquera au contraire le principe de la méthode Allard pour la détermination de l'intensité moyenne.

Principe de l'appareil. — Cette méthode consistait, comme on le sait, à faire une série de mesures de l'intensité de la source O sous des angles α variant par intervalles réguliers de 0 à 180° à partir de la verticale OV (fig. 1). L'intensité moyenne a pour expression théorique

$$I_m = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} I_\alpha \sin\alpha \, d\alpha, \qquad (1)$$

qui en pratique, si on fait n mesures sous des angles espacés de $\frac{180°}{n}$, revient à

$$I_m = \frac{1}{n}\sum_0^n I_\alpha \sin\alpha. \qquad (2)$$

Le résultat obtenu par cette formule ne diffère pas pratiquement de celui de la formule (1) dès que n est supérieur à 10 ; en pratique on fait $n = 12$ ou 18.

Un des procédés les plus commodes pour faire ces mesures est celui que j'ai décrit dans ce journal en février 1895 et qui diffère peu de celui connu sous le nom de V. Hefner-Alteneck. Il consiste dans l'emploi d'un miroir M (fig. 2) qu'on peut faire tourner autour d'un axe horizontal SE passant par le

[1] Du grec μεσος moyen.
[2] *L'Éclairage Électrique*, mars, avril, mai 1895.

centre de l'arc et incliné de manière que dans toutes ses positions le rayon SM contenu dans le plan méridien perpendiculaire à SE vienne après réflexion passer au point E où est placé le photomètre.

J'applique le même principe, mais au lieu de placer le miroir successivement en différentes positions, je dispose une fois pour toutes dans ces positions de petits miroirs plans trapézoïdaux découpés dans une même glace argentée et qui par leur réunion forment une rosace AB (fig. 3 et 4), comme celles qu'on voit dans certaines boutiques de foires ([1]). Avec une source lumineuse de petite dimension, telle que l'arc, il est très facile, tout en employant un nombre suffisant de miroirs, 24 par exemple pour la circonférence entière, de leur donner des dimensions suffisantes pour que du point E l'arc soit vu complètement au milieu de chacun d'eux. Une rosace de 0,50 m de diamètre moyen aura par exemple des miroirs de 6 centimètres de large, c'est à dire 5 fois plus grands qu'il n'est nécessaire.

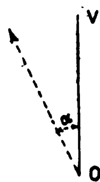


Fig. 1.

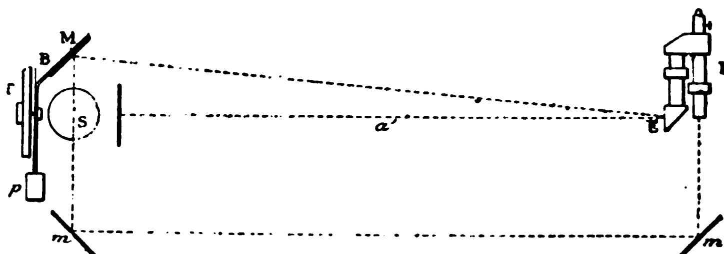


Fig. 2.

Tracé de la courbe photométrique.— Voyons d'abord comment cet appareil permet de tracer une courbe polaire des intensités lumineuses d'un arc placé au centre de la rosace. Il suffit d'utiliser chacun des miroirs successivement en occultant les autres. Ce résultat s'obtient très facilement en entourant l'arc d'une sphère opaque Q concentrique à l'appareil et portée par une tige *t* qui peut tourner dans un palier *a* et une crapaudine *b*. On disposera sur cette sphère une série de fenêtres *ff* découpées de manière à découvrir successivement un seul miroir à la fois lorsqu'on fait tourner la sphère à la main. Une roue étoilée *e* butée par un ressort permettra d'amener successivement sans tâtonnement chaque fenêtre dans la position voulue et de l'y immobiliser.

Par ce procédé on évite toutes les lectures d'angles et la courbe photométrique entière peut ainsi être tracée en moins d'un quart d'heure, soit 2 ou 3 fois plus vite qu'avec un miroir mobile qu'il faut repérer soigneusement dans chaque position. En outre on peut faire à la fois les mesures pour les deux demi-circonférences de droite et de gauche en faisant correspondre deux à deux les fenêtres des deux côtés.

Mesure de l'intensité moyenne. — Pour obtenir l'intensité moyenne, il suffit de découvrir tous les miroirs et d'affaiblir l'action de chacun proportionnellement au sin α correspondant. J'obtiens très simplement cette réduction en remplaçant la sphère précédente par une autre Q' (fig. 5) portant plusieurs séries d'ouvertures en forme de fenêtres accolées, limitées par des portions de méridens et sous-tendant un angle horizontal proportionnel à sin α ; en imprimant à la tige *t* qui porte cette sphère un mouvement de

([1]) J'avais indiqué d'abord dans un mémoire présenté à M. Potier en 1892 mais non publié, un autre procédé consistant à employer un seul miroir tournant extrêmement vite, mais avec une vitesse variable de la forme $\omega = \Omega \cos \alpha$; mais un semblable mouvement eût été difficile à réaliser. D'autre part le miroir tournant dans un plan vertical ne permet pas de placer l'arc au centre de la circonférence décrite par le point d'incidence et il en résulterait sur la mesure d'intensité moyenne une erreur souvent grosse et en tout cas impossible à corriger.

rotation assez rapide pour permettre la persistance des impressions lumineuses, on réduit celles-ci proportionnellement à la largeur angulaire des ouvertures c'est à dire à sin α.

La figure 5 représente en projection verticale une série de fenêtres de ce genre. La largeur de chacune au milieu de sa hauteur se calcule facilement par la corde sous-tendue ;

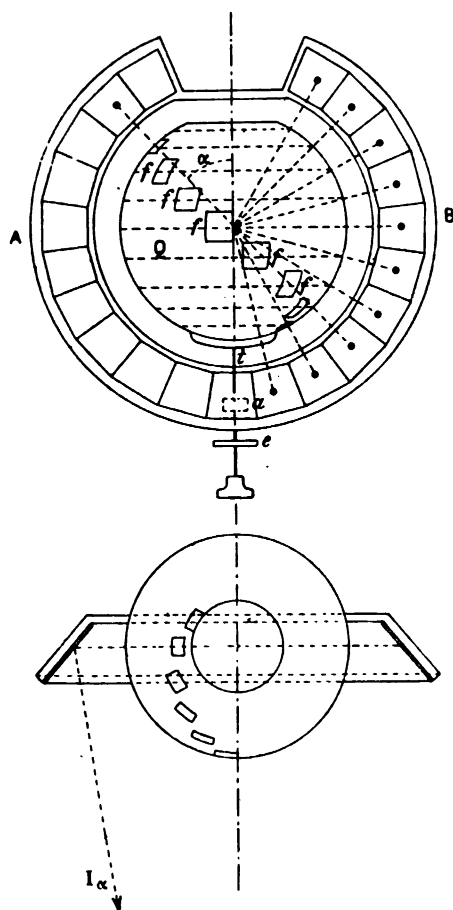


Fig. 3 et 4. — Elévation et coupe horizontale du photomésomètre.

soit h l'arc up de la fenêtre équatoriale, l'arc médian de la fenêtre correspondant au miroir d'angle α sera $h \sin^2 \alpha$. Rien n'est donc plus facile que de dessiner ces fenêtres avec le compas sur la surface de la sphère et de les découper ensuite au burin. On peut même, si on le préfère, remplacer ces fenêtres crénelées par une seule ouverture continue passant par les points moyens comme l'indique le tracé pointillé de droite $s\,u'\,v$.

Si l'on dispose 6 séries semblables sur les

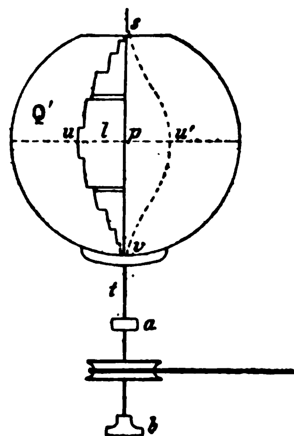


Fig. 5.

sphères, il suffira, pour obtenir directement la fusion des impressions sur la rétine, d'en espacer les passages de $\frac{1}{20}$ de seconde, ce qu'on

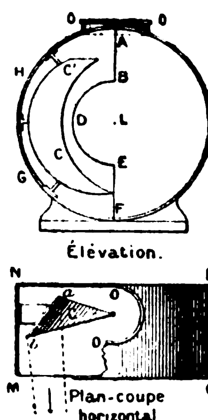


Fig 6. — Lumenmètre à diffuseur conique.

obtiendra en imprimant à la sphère une vitesse de rotation de $\frac{20}{6} \times 60 = 200$ tours par minute, ce qui ne présente aucune difficulté, la force centrifuge étant faible à cette allure.

La mesure directe faite au photomètre E donne la valeur de l'intensité moyenne en fonction de diverses constantes. Appelons φ l'angle au centre sous-tendu par une fenêtre équatoriale, p le nombre des séries de fenê-

tres de la sphère, $2n$ le nombre des petits miroirs, k le coefficient commun de réduction de l'intensité par l'absorption des miroirs et par l'effet de l'obliquité des rayons tombant sur le photomètre.

On a évidemment, en appelant J l'intensité mesurée

$$J = k\frac{2n\varphi}{360} \times p \times I_m.$$

D'où :

$$I_m = \frac{360}{2pn\varphi}\frac{J}{k}.$$

Le coefficient k se mesure en faisant une lecture de l'intensité horizontale d'une source fixe, d'abord directement puis par l'intermédiaire du miroir éclairé par la fenêtre équatoriale ; le rapport de la seconde à la première lecture donne k ; on peut même en faisant la seconde lecture pendant la rotation de la sphère et en occultant tous les miroirs sauf un de l'équateur, obtenir en bloc le coefficient $k \times \frac{p\varphi}{360}$.

La lampe peut être introduite dans l'appareil par le haut comme dans le lumenmètre et le foyer lumineux placé exactement au centre. La rotation de la sphère, obtenue par une corde passant sur une poulie, peut être entretenue par un moteur ou simplement à la main.

Comparaison avec les lumenmètres. — Le photomésomètre est de construction un peu plus économique que le lumenmètre à miroir, mais non pas que le lumenmètre à diffuseur cônique [1]. Celui-ci peut être exécuté très simplement comme le montre la figure 6 en limitant un écran cônique suivant deux plans méridiens ; le cône doit seulement être recouvert d'une substance ayant une indicatrice de diffusion circulaire, comme je l'ai expliqué, telle que émail dépoli, blanc de céruse mat et frais, etc.

En outre, le photomésomètre n'est exact que si l'arc à photomètrer est bien au centre, car sans cela tous les angles α sont altérés, tandis que le lumenmètre donne des mesures rigoureuses à la seule condition que l'arc soit sur l'axe vertical de l'appareil ; un petit déplacement vertical ne change pas en effet la valeur totale du flux recueilli.

Enfin le photomésomètre ne se prête bien qu'à l'arc électrique et non aux sources de grand volume, telles que les arcs sous globe, auxquelles le lumenmètre de la figure 6 s'applique au contraire aisément.

Les seuls avantages qu'il présente en définitive c'est un tarage facile, et la possibilité de l'employer aussi aux tracés rapides des courbes de répartition lorsqu'elles sont désirées : mais ce n'est plus bien utile pour l'arc électrique aujourd'hui.

L'avenir montrera laquelle de ces méthodes ou de celles analogues qui pourront être imaginées rendra les meilleurs services.

A. BLONDEL.

([1]) Pour la description de ces appareils, voir le mémoire déjà cité. Tous sont exécutés par les mêmes constructeurs.

CONGRÈS DE CARTHAGE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES [1]

MM. *Blondel* et *André Broca* adressent la description de leur *photomètre universel*.

Cet appareil a pour but de permettre d'effectuer toutes les mesures utiles en photométrie, soit au laboratoire, soit dans les installations de lumière existantes ; il permet de mesurer les intensités, les éclairements, les éclats et cette dernière mesure peut être faite soit pour des sources éloignées, soit pour des sources rapprochées.

L'appareil est absolument symétrique. Il comprend une pièce centrale A, qui porte deux écrans diffusifs $e\,e'$, et deux miroirs $\alpha\,\alpha$ superposés, donnant de e et e' deux images superposées en ε. On regarde celles-ci avec

([1]) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 4 juillet, p. 5.

une loupe C, et un système à vision binoculaire que la figure fait comprendre immédiatement.

Deux tubes B B sont montés sur cette pièce, à baïonnette de manière à être facilement amovibles. En E ces tubes portent des lentilles convenablement calculées, et des œils de chats spéciaux. Les pièces mobiles sont celles d'un œil de chat rectangulaire. Mais des diaphragmes rectangulaires dont les grands côtés ont toute la hauteur de la course des pièces mobiles, et sont parallèles au mouvement de celles-ci, permettent de réduire dans des pro-

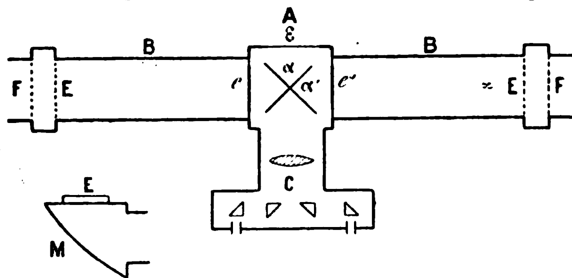


Fig. 1. Photomètre universel *A. Blondel* et *A. Broca*.

portions connues l'ouverture utilisée de la lentille.

L'emploi de l'un de ces diaphragmes convenablement divisé permet d'utiliser toujours, même pour des surfaces très petites de la lentille, une partie moyenne de la course des pièces mobiles, c'est à dire une partie de la graduation correspondante où la lecture est encore précise. D'ailleurs la précision est rendue bonne même pour des positions de pièces mobiles assez voisines du contact, par l'emploi d'un tambour divisé fixé sur les vis micrométriques. Ces dispositions assurent un fonctionnement absolument régulier de l'œil de chat. On peut placer dans les chaussants F F soit des lames d'albatrine, soit des bonnettes à miroir M et écran d'albatrine E permettant d'étudier les éclairements dans divers azimuths, soit des bonnettes contenant l'étalon secondaire adopté.

L'appareil peut être porté sur un pied photographique ou sur un support mis sur une table. La partie A peut être placée sur un support de banc d'optique, et remplace alors le photomètre genre Bunsen ou Violle avec l'avantage de la vision binoculaire.

Les mesures d'intensité peuvent se faire par divers procédés, soit sur pied, soit sur banc, soit par la loi des distances, soit par les œils de chat, par retournement ou par substitution. Ces procédés sont facile à imaginer.

Les mesures d'éclairement se font à l'aide d'une bonnette à miroir et de l'étalon secondaire comme dans le photomètre Mascart. La première mesure faite, on enlève l'étalon secondaire; laissant la première bonnette fixe on la remplace par la deuxième bonnette, et l'étude des divers azimuths se fait avec des lumières rigoureusement identiques, et soumises aux mêmes causes de variations.

Pour mesurer l'éclat d'un plafond, problème industriel analogue au précédent, on peut enlever le diffuseur E, et, en orientant convenablement la bonnette, opérer comme pour la mesure de l'éclat d'une source inaccessible.

Pour remplacer l'étude des égales clartés par celle des égales acuités, il suffit d'enlever les écrans *e*, qui sont amovibles et de les remplacer par des objets convenables.

Pour la mesure des éclats intrinsèques, on produit des images réelles sur les écrans *e* des sources à comparer, et on opère comme dans le microphotomètre de M. Cornu. On peut opérer par comparaison, l'étalon donnant l'éclairement habituel des écrans *e*, ou bien en plaçant l'instrument sur le banc et calculant l'éclairement par la loi des distances. Pour pouvoir voir les expériences, l'un des tubes B est à tirage et permet de produire sur l'écran *e* correspondant des images plus ou moins grandes de la source à étudier.

Une lentille convenable mise dans le chaussant permet de produire l'image d'un point éloigné, ce qui résout le problème de la mesure de l'éclat d'un plafond, ou d'un arc électrique inaccessible.

Les mesures se font facilement à 0,5 pour 100 près.

M. *André Broca* adresse une Note : « Sur

quelques conditions à réaliser en photométrie ».

L'auteur montre en s'appuyant sur les résultats des études de bien des auteurs, et des siennes propres, que la diminution de sensibilité différentielle avec l'éclairement est à peu près aussi rapide que la diminution de la notion de différence de couleurs. On ne peut donc songer à soutenir l'idée émise fréquemment qu'il y a avantage, pour la comparaison des lumières hétérochromes, à employer des éclairements extrêmement faibles, en serrant fortement les œils de chat des photomètres qui utilisent ce procédé de réglage ou en éloignant beaucoup les sources. On perd plus par diminution d'intensité qu'on ne gagne par l'identité apparente de couleur.

On double la sensibilité des mesures photométriques par l'emploi de la vision binoculaire, mais il faut avoir soin, si les yeux ne sont pas identiques, d'opérer par retournement ou substitution.

M. *André Broca* adresse une communication : « Sur l'emploi de la lampe à la naphtaline comme étalon secondaire ».

L'auteur a employée la lampe à la naphtaline (albo carbon) comme étalon secondaire, et il a vu que cette source, placée dans une enceinte à température déterminée, avait une intensité très fixe. Les erreurs n'atteignent pas 3 o/o, sans autre précaution que d'éviter les courants d'air et de placer la lampe dans une enceinte aux environs de 15 degrés; deux ou trois degrés de différence n'ont pas grande importance.

Si la température est plus basse, on peut y remédier par l'emploi d'une couverture convenable en coton. On règle celle-ci de manière à ce que la flamme du papillon qui brûle la vapeur de naphtaline soit sur le point de devenir fuligineuse ; à ce moment on peut compter sur l'intensité de la lampe, et ce point est assez facile à saisir.

La lampe à la naphtaline deviendrait certainement un étalon extrêmement précis, si on plongeait le réservoir dans un bain d'huile à température constante.

Cet étalon parait très bien adapté aux besoins des essais de plaque photographique. Il est en effet actinique et d'une grande intensité.

M. *Féry* adresse une note : « Sur la photométrie de l'acétylène ».

L'auteur a réalisé un appareil permettant de mesurer très commodément les éclats intrinsèques, avec les ressources ordinaires d'un laboratoire. Il prend comme unité d'éclat celui de la *partie centrale* d'une flamme de lampe Carcel. Il forme successivement une image réelle de la source à étudier et de la carcel sur un trou toujours le même, qui devient alors la source à mesure. Il emploie un étalon secondaire de comparaison et substitue à la lumière à étudier, l'étalon Carcel pris comme type ; il établit l'équilibre au moyen de l'étalon de comparaison, dans les deux cas. Cet appareil permet donc, avec les ressources ordinaires d'un laboratoire, de faire des mesures d'éclat. Peut être les intensités lumineuses sont elles un peu faibles, mais l'appareil doit pouvoir rendre de grands services.

M. Féry résume ainsi ses études :

Bougie			Lampe à pétrole plate			Lampe à arc	
Sommet	Cône lumineux	Cone sombre	plat	45°	90°	centre	bord
0,54	1,59	0,10	0,65	0,92	4,72	1,55	3,18

Bec papillon		Bengel		Bec incand.		Arc	
plat	profil	centre	bord	gaz	électr.	charb. positif	charb. négatif
0,35	1,2	0,95	1,52	1,39	1,25	20 000 envir.	7 000

Lampe Drummond	Magnésium	Carcel	Acétylène	
			à plat	transp.
91	51	1	7,2	33

M. *Violle* envoie un Mémoire sur son étalon photométrique à l'acétylène. Celui-ci a déjà été présenté à la Société de physique et l'*Éclairage électrique* en a rendu compte (¹).

(¹) *Éclairage Électrique*, t. VI, p. 178, 25 janvier 1896.

M. *Guillaume* adresse une note : « Sur l'unité d'éclat ».

L'auteur insiste sur les diverses difficultés de l'établissement d'un étalon photométrique. Il fait observer que, contrairement à ce qui se passe dans les autres parties de la physique ou définit en photométrie l'unité au moyen d'un étalon, et non indépendamment de celui-ci. Il montre qu'on arriverait à une unité théorique en observant le nombre de watts dépensés dans chacune des bandes du spectre définies par la condition que les longueurs d'onde de ses radiations extrêmes soient différentes de 0,1 par exemple. Cette définition serait d'une application certainement difficile, mais elle est seule rigoureuse.

Il étudie ensuite les défauts que présentent les étalons usuels. Il montre que le meilleur est celui de M. Violle, mais que celui-ci manque encore d'une condition pour être entièrement défini, c'est d'être compris à l'intérieur d'une enceinte isotherme fixe. Ceci a été proposé par MM. Lummer et W. Wien. Dans ces conditions, le rayonnement n'est plus fonction que de la température seule. L'auteur montre, en s'appuyant sur la loi de Stefan, que l'isothermie de l'enceinte est d'autant plus facile à réaliser que la température est plus élevée. Il faut aussi qu'il n'y ait dans l'enceinte que des corps noirs et non luminescents.

Il rappelle que les expériences de M. Saint Jolm ont vérifié la nécessité de l'isothermie de l'enceinte. Ce savant place une lame métallique recouverte partiellement d'oxyde dans une enceinte à peu près fermée. Il vérifie que dans ces conditions, les éclats des deux corps sont identiques. Mais si on introduit par une fente latérale un morceau de porcelaine froid, l'oxyde prend un éclat supérieur au métal.

M. *Chassevant* adresse une note « Sur un procédé permettant de régulariser le débit de l'acétylène par l'action de l'eau sur le carbide ». Ce procédé consiste à ajouter de l'alcool en proportion convenable. Dans ces conditions, l'alcool avide d'eau empêche l'action de se produire trop rapidement, en contrebalançant dans une certaine mesure l'avidité du carbure pour l'eau.

Ce procédé permettra peut-être de rendre pratique dans bien des cas l'étalon de M. Violle.

M. *Violle* adresse un Mémoire : « Sur l'arc électrique ».

Après avoir établi que le cratère positif est le siège d'une ébullition normale du carbone, dont l'activité seule dépend de l'intensité du courant, M. Violle a voulu évaluer la température correspondant à ce point fixe d'ébullition. Par l'étude simultanée de la chaleur spécifique du graphite et de l'éclat de ce corps à différentes températures, il a pu non seulement fixer le point d'ébullition, mais encore les intensités des diverses radiations simples émises par le charbon depuis le moment où il devient incandescent, jusqu'à celui où il se réduit en vapeur.

M. *de la Baume Pluvinel* adresse une note : « Sur la photographie quantitative. »

L'auteur pose les bases de l'emploi de la photographie en photométrie.

L'énergie des radiations qui agissent sur une couche photographique, la sensibilité de cette couche, la puissance révélatrice du bain de développement et l'opacité ou le ton du dépôt métallique produit au sein de la couche, sont autant d'éléments variables qui sont fonction les uns des autres et dont la définition précise et la mesure exacte font l'objet de la photographie quantitative. La mesure des variables qui entrent dans la fonction photographique permet d'aborder trois ordres de questions : la photométrie photographique, l'étude des couches sensibles, et celle des révélateurs.

Les études de l'auteur ont porté surtout sur la mesure de l'effet photographique produit sur les plaques au gélatino-bromure d'argent ; dans les applications photométriques, on peut se servir du poids d'argent réduit déposé dans la couche. L'auteur a réalisé cette

mesure par le dosage au sulfo-cyanure d'ammonium. Le poids par centimètre carré peut s'appeler la densité du dépôt d'argent.

La courbe de la densité D en fonction de la quantité de lumière Q reçue en un temps donné permet ensuite la mesure de l'intensité lumineuse par un simple dosage d'argent.

L'étude ainsi conduite montre que les idées ordinaires sur la sensibilité photographique sont absolument fausses. L'effet produit est loin d'être constant alors que le produit de l'éclairement par le temps de pose reste constant. La même plaque placée à 1 m et à 5 m d'une même source donnera la même impression, si dans le premier cas elle a posé 10 secondes, et dans le second 350 secondes et non 250, qui est le nombre généralement admis.

Ceci est variable avec les plaques employées et la densité du dépôt d'argent considéré.

L'auteur a continué ces études par une méthode de comparaison optique de l'opacité des clichés.

En dehors de la photométrie, la section de physique a reçu trois communications relatives à l'électricité.

M. *Blondel* expose la situation de la question des unités magnétiques, telle qu'elle a été posée par la décision de l'American Institut of Electrical Engineers, et la récente délibération de la British Association; un article détaillé sur cette question a été publié par l'*Éclairage Électrique* du 20 juin.

M. *Bergonié* présente un travail sur la mesure des résistances électriques en clinique. Il insiste sur l'importance qu'a parfois cette mesure, et sur l'insuffisance des moyens rapides seuls admissibles en clinique. La mesure du voltage aux bornes avec un ampèrage connu n'est pas possible à cause de la résistance considérable des tissus ; on ne peut construire un voltmètre assez résistant pour ne pas introduire une grave perturbation dans le circuit. De plus, les phénomènes de polarisation rendent cette mesure illusoire.

Il faut employer les méthodes par courants alternatifs. M. Bergonié emploie fort judicieusement une méthode dérivée de la méthode du galvanomètre différentiel de Becquerel, dans lequel le galvanomètre différentiel est remplacé par un téléphone différentiel, et la pile par une bobine d'induction. Ce procédé permet une mesure à $\frac{1}{40}$ près environ quand on prend comme résistance de compensation un rhéostat à liquide.

M. *Bodier* a étudié la variation de la sensibilité de la peau au courant induit, en fonction de la résistance de l'induit, et de la surface des électrodes. Il graduait son courant au moyen d'un rhéostat à liquide. Il a obtenu ainsi trois courbes pour la résistance du rhéostat à laquelle correspond le mininum de sensation perceptible en fonction de la surface des électrodes avec trois induits différents.

Il en conclut qu'on obtient avec les bobines médicales actuelles des effets douloureux qu'on pourrait éviter avec des bobines moins résistantes, en conservant la contraction musculaire.

Ces résultats auraient besoin d'être vérifiés en employant la méthode de l'éloignement du chariot de l'appareil Dubois Reymond pour graduer le courant, au lieu d'un rhéostat. En effet, le fonctionnement de l'interrupteur est profondément modifié par le circuit secondaire, et, par la méthode de l'éloignement, la sensation minima se produit pour un éloignement assez grand pour que le coefficient d'induction mutuelle soit faible et négligeable dans tous les cas.

ANDRÉ BROCA.

RECHERCHES SUR L'AIMANTATION DE LA MAGNÉTITE CRISTALLISÉE [1]

B. Expériences sur l'aimantation de disques de magnétite cristallisée.

7. PRINCIPE DE LA DEUXIÈME MÉTHODE DE MESURE

Les expériences précédentes ne portent que

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 487; 13 juin 1896.

sur les directions des axes de symétrie du cristal. Il était désirable d'avoir des renseignements sur l'aimantation dans d'autres directions. De plus, on peut objecter à ces expériences que l'identité absolue de la matière n'est pas démontrée, bien que des barreaux de différentes orientations aient été taillés dans le même cristal présentant de grandes garanties d'homogénéité.

J'ai pu mesurer l'aimantation en dehors des axes et comparer sa valeur dans différentes directions sur le même échantillon en employant des disques de magnétite.

On pourrait en principe opérer sur un disque dont la base est parallèle au champ par la méthode de la double bobine et faire varier l'azimut de l'aimantation en le faisant tourner autour de son axe. Les difficultés expérimentales que l'on rencontrerait dans l'application de cette méthode seraient assez grandes et la discussion de la précision des résultats difficile. Je me suis borné à l'emploi d'une seule bobine induite entourant le disque.

On sait que les corps très magnétiques dont les dimensions perpendiculaires et parallèles au champ sont comparables prennent, par suite de l'action démagnétisante qu'ils exercent sur eux-mêmes, un moment magnétique sensiblement proportionnel au champ et qui ne dépend que fort peu des propriétés de la matière qui les compose.

Cherchons à nous rendre compte jusqu'à quel point les variations du flux traversant une bobine induite entourant suivant un diamètre un disque dont l'épaisseur n'est pas négligeable, peuvent donner la loi de son aimantation.

Le champ H' à l'intérieur d'un ellipsoïde, dont l'un des axes coïncide avec la direction du champ extérieur A, est uniforme et a pour valeur : $H' = H - NI$ où I représente l'intensité d'aimantation de l'ellipsoïde et N une constante dépendant uniquement du rapport de ses axes. Lorsqu'il s'agit d'un ellipsoïde de révolution aplati, aimanté suivant une direction du plan de l'équateur, on a, en supposant l'axe de révolution $2b$ infiniment petit par rapport à un diamètre $2a$ de l'équateur :

$$N = 2\pi \frac{b}{a \sin I}.$$

On peut pour un disque cylindrique considérer encore un facteur N de cette espèce, bien que le champ à l'intérieur et l'intensité d'aimantation ne soient pas constants, en le définissant de la manière suivante : soient I le moment magnétique total du disque divisé par son volume, c'est à dire l'intensité d'aimantation moyenne et H' le champ uniforme qui produirait une intensité d'aimantation égale à I. Le facteur N est donné par la relation :

$$H' = H - NI,$$

par définition. Il n'est plus constant, mais on peut lui assigner comme limite supérieure la valeur de N pour l'ellipsoïde de révolution aplati de même axe dont le rapport des dimensions est égal à celui des dimensions du disque cylindrique. Si, comme dans les considérations qui suivent, on substitue cet ellipsoïde au disque, on exagère par conséquent, l'influence du champ démagnétisant.

Soit $k = \frac{I}{H'}$ la susceptibilité magnétique de la substance :

$$I = k(H - NI),$$

d'où

$$I = \frac{kH}{1 + Nk}.$$

Si S est la section de la matière par un plan diamétral, S' l'aire d'une spire de la bobine, le flux d'induction qui traverse une spire est :

$$F = (H - NI)S' + 4\pi IS = HS' + (4\pi S - NS')I.$$

Considérons seulement la partie proportionnelle à I :

$$F_1 = (4\pi S - NS')I = (4\pi S - NS')\frac{kH}{1 + Nk}.$$

Si nous faisons varier la susceptibilité en laissant le champ extérieur H constant, nous avons :

$$\frac{\partial F_1}{F_1} = \frac{1}{1 + Nk}\frac{\partial k}{k}.$$

Prenons un exemple qui correspond à peu près à une première tentative d'expérience :

Disque de 0,3 mm d'épaisseur
9 mm de diamètre

d'où

$$N = 0{,}25.$$

Pour la valeur du champ de cette expérience on avait environ $k = 8$, d'où :

$$\frac{\partial F_1}{F_1} = \frac{1}{3}\frac{\partial k}{k}.$$

Si l'on considère que le flux total qui traverse la bobine comprend en outre le terme H S' qui est comparable en grandeur au terme F' on voit que sa mesure n'indique que d'une manière fortement atténuée les variations des propriétés magnétiques. Aussi les différences des flux observés pour différentes orientations du disque au moment de l'établissement ou de la suppression du courant étaient-elles à peine supérieures aux erreurs d'expérience.

J'ai obtenu au contraire des résultats très nets en modifiant la méthode de la manière suivante : au lieu de mesurer le flux total j'ai mesuré les variations de ce flux avec l'orientation, en faisant tourner brusquement le disque d'un angle connu.

Comme le montre l'équation :

$$\frac{\Delta F'}{F'} = \frac{1}{1 + kN} \cdot \frac{\Delta k}{k}.$$

la variation du flux est sensiblement proportionnelle à celle de la susceptibilité.

Ces variations peuvent être mesurées très exactement en utilisant toute l'échelle du galvanomètre réglé à une sensibilité qui serait beaucoup trop grande pour la mesure du flux total.

La fraction $\frac{1}{1 + kN}$ est d'autant plus voisine de l'unité que k est plus petit, j'ai été ainsi conduit à choisir un champ extérieur élevé. Je l'ai obtenu au moyen d'un aimant permanent. Dans les conditions de l'expérience, pour le disque de 9 mm :

$$\frac{\Delta F'}{F'} = 0{,}8 \frac{\Delta k}{k}.$$

Après les expériences préliminaires sur trois petits disques de 9 mm de diamètre, je

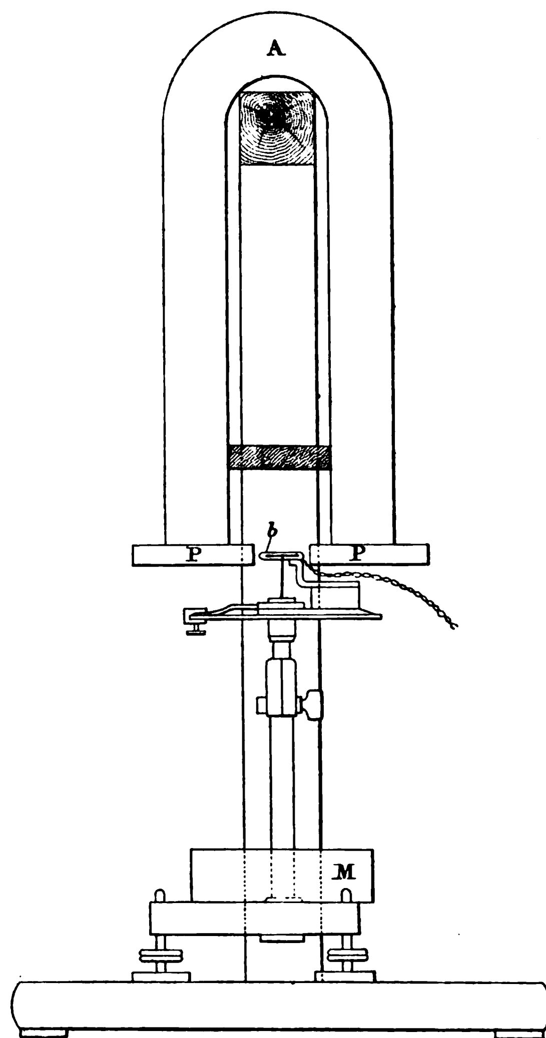


Fig. 11. — Appareil pour la mesure de l'aimantation des disques de magnétite.
Echelle 1/5.

me suis servi de disques de 20 mm et de 12 mm pour lesquels on avait environ

$$\frac{\Delta F'}{F'} = 0{,}9 \frac{\Delta k}{k}.$$

8. APPAREIL. — MARCHE DE L'EXPÉRIENCE

L'appareil qui a servi dans ces mesures est représenté dans les figures 11 et 12. Le dis-

que de magnétite est collé avec un peu de cire sur un disque de laiton de même diamètre supporté par une petite tige fixée dans l'axe de la plate-forme d'un goniomètre de Babinet. Les angles de rotation de la plate-forme sont mesurés au moyen d'une alidade dont l'excursion est limitée par deux butoirs.

La bobine induite *b* (fig. 12) se compose de deux parties de 40 tours, laissant passer entre elles la tige qui supporte le disque. Elles sont reliées par un support flexible en plomb, permettant les réglages, à la pièce qui dans le goniomètre porte la lunette. On fixe cette pièce ou on limite sa course par deux autres butoirs, et les angles dont elle tourne sont lus sur le cercle divisé.

Un grand aimant A (fig. 11) en fer à cheval est suspendu au dessus du goniomètre et

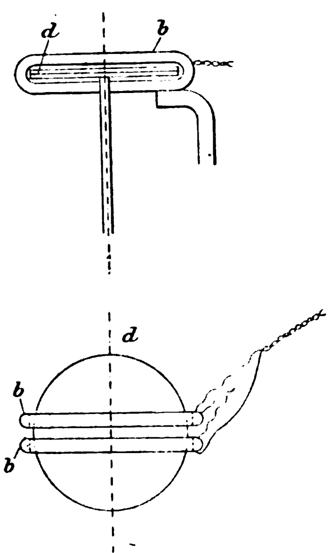


Fig. 12. — Grandeur naturelle.

porte, par simple attraction magnétique, deux pièces polaires P en fer doux qui produisent un champ sensiblement uniforme dans toute l'étendue du disque. Ce champ a été mesuré par le galvanomètre balistique au moyen d'une bobine composée de trois tours de diamètre exactement connu et a été trouvé égal à 353 unités. Une masse de plomb M donne la stabilité nécessaire à l'appareil.

Pour ne pas perdre de vue l'importance relative des différences d'aimantation par rapport à l'aimantation totale j'ai cherché à déterminer la valeur de cette dernière avec la même unité que ces différences, pour un rayon arbitrairement choisi.

La sensibilité du galvanomètre étant réduite dans un rapport déterminé expérimentalement et le disque étant fixé de façon à faire coïncider un maximum ou un minimum d'aimantation avec le champ, on fait tourner brusquement la bobine de 180° à partir de la position ou elle est traversée par le flux maximum. On mesure ainsi 2 fois le flux total. Le choix des maxima comme limite de la rotation de la bobine a l'avantage de ne pas obliger à une détermination extrêmement précise de ces limites. Pour pouvoir exécuter plus commodément l'opération, la rotation de 180° est décomposée en deux rotations de 90° donnant des impulsions sensiblement égales dont la moyenne donne le flux total F.

On fait ensuite la même mesure après avoir enlevé le disque de magnétite. On a ainsi le flux H S', provenant du champ extérieur H traversant la bobine d'aire S'. La différence des deux mesures donne l'intensité correspondant au rayon origine.

Ces déterminations préliminaires faites, on opère comme il suit : le plan des spires de bobine étant réglé perpendiculairement au champ magnétique, ce qui se fait facilement avec une précision plus que suffisante, on cherche par tâtonnements quelles sont les positions pour lesquelles le galvanomètre balistique ne donne aucune impulsion quand on fait tourner le disque d'un très petit angle. La grande sensibilité du galvanomètre permettrait de déterminer ainsi la position des maxima et des minima d'aimantation avec une extrême précision sans l'intervention des phénomènes d'aimantation résiduelle. Par suite de ces derniers ils sont déterminés avec une incertitude de 1° ou 2° environ, ainsi que le montre la concordance des mesures faites à une demi-circonférence de distance.

Puis on fait décrire au disque toute la portion de la circonférence qui n'est pas rendue inaccessible par le support de la bobine, c'est à dire près de 300°, en passant brusquement d'un maximum ou minimum au minimum ou maximum suivant. On note l'impulsion correspondante. La somme algébrique de ces impulsions donne alors la différence entre un maximum ou un minimum quelconques et le rayon vecteur origine.

Ainsi qu'il a été dit antérieurement la précision des observations est suffisante pour permettre d'additionner un grand nombre d'impulsions sans craindre de trop augmenter les erreurs par leur accumulation. D'ailleurs l'égalité des rayons vecteurs distants de 180° constitue une bonne vérification des mesures.

Le détail du tracé de la courbe représentant l'aimantation en fonction de la direction est ensuite arrêté par la mesure de la différence entre les rayons vecteurs d'un certain nombre de points intermédiaires et les maxima et minima voisins.

9. Composante de l'aimantation perpendiculaire au champ

Pour les expériences sur les barreaux taillés parallèlement aux axes de symétrie du cristal il est naturel de penser que la direction de l'aimantation est celle du champ magnétisant parallèle au barreau. Les mêmes raisons de symétrie n'existent pas quand on aimante un disque suivant un azimut quelconque. Les expériences décrites ci-dessus ne mesurent par conséquent pas l'aimantation totale mais la composante de l'aimantation perpendiculaire au plan des spires de la bobine. Dans le cas général il y a une composante normale au champ située dans le plan du disque et une composante normale au disque. Je n'ai pas tenu compte de cette dernière. Les disques employés en effet étaient taillés parallèlement aux plans suivants :

1° Plan de la face du cube. Ce plan contient deux axes quaternaires parallèles aux arêtes du cube et deux axes binaires à 45° sur ceux-ci. C'est le plan de symétrie perpendiculaire au troisième axe quaternaire.

2° Plan de la face du dodécaèdre rhomboïdal. C'est le plan diagonal du cube, il contient un axe quaternaire, un axe binaire perpendiculaire à l'axe quaternaire et deux axes ternaires faisant avec l'axe quaternaire des angles α tels que $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$, c.à.d. $\alpha = 35°, 15', 52''$. Ce plan est également un plan de symétrie, il est perpendiculaire à l'un des axes binaires du système cubique.

3° Plan de la face de l'octaèdre. Ce plan est perpendiculaire à l'un des axes ternaires et contient les trois axes binaires, parallèles aux côtés de la face de l'octaèdre, faisant entre eux des angles de 120°.

L'aimantation se fait nécessairement dans le plan du disque quand il coïncide avec un plan de symétrie comme dans les deux premières orientations. Il n'en est plus de même pour la face de l'octaèdre qui n'est pas un plan de symétrie. Il n'y a dans cette face que les directions des axes binaires et de leurs bissectrices pour lesquelles on puisse affirmer que l'aimantation est dans le plan du disque. Mais l'obliquité de l'aimantation est certainement faible par suite de la difficulté que des lames à faces parallèles éprouvent à s'aimanter transversalement. Les expériences présentant d'autres difficultés d'interprétation plus importantes, il ne m'a pas paru nécessaire de m'occuper de celle-ci que je me contente de signaler.

Quant à la composante perpendiculaire au champ située dans le plan du disque, je l'ai déterminée en plaçant le plan des spires de la bobine parallèlement au champ et en opérant comme pour la composante principale.

Nous avons parlé plus haut de la non-uniformité de l'aimantation dans un disque et de l'incertitude qui règne sur sa grandeur par suite du champ démagnétisant mal connu. Ce champ exerce une influence plus grande encore sur la composante transversale de l'aimantation en faisant dévier le champ inté-

rieur d'un certain angle par rapport au champ extérieur.

Soient, en effet,

i l'intensité totale d'aimantation.

α son angle avec le champ extérieur.

β l'angle du champ intérieur avec le champ extérieur. Les composantes du champ intérieur sont ·

$$H - N I \cos \alpha$$
$$- N I \sin \alpha,$$

et l'on a :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{- N I \sin \alpha}{H - N I \cos \alpha}.$$

Avec une grossière approximation

$$\beta = \frac{- N I}{H - N I} \alpha;$$

β est négatif, le champ est dévié en sens inverse de l'aimantation.

L'obliquité de l'aimantation sur le champ vrai est $\alpha - \beta$ tandis que la mesure donne l'angle α de l'aimantation avec le champ extérieur. L'intensité d'aimantation perpendiculaire au champ est donc trouvée trop petite dans le rapport :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha - \beta)},$$

ou approximativement :

$$\frac{\alpha}{\alpha - \beta} \frac{1}{1 + \frac{N I}{H - N I}} = 1 - N k.$$

$N k$ est dans le cas des expériences 0,11. L'aimantation normale est donc trouvée facilement de $\frac{1}{10}$ environ trop faible par rapport à l'aimantation parallèle au champ.

10. DÉTAIL DES EXPÉRIENCES. — RÉSULTATS.

Entrons maintenant dans le détail des expériences. Une première série de mesures a été faite sur de petits disques de 9 mm de diamètre et de 0,3 mm d'épaisseur avec un appareil provisoire identique en principe à celui qui a été décrit. Deux disques parallèles l'un à la face du cube, l'un à la face du dodécaèdre provenaient d'un cristal de Traverselle un troisième parallèle à la face de l'octaèdre provenait d'un cristal des Etats-Unis. C'est le seul emploi que j'ai pu faire des cristaux extérieurement très beaux de cette provenance. Je n'insisterai pas sur ces expériences qui sont complètement confirmées par celles qui suivent.

a. Magnétite de Brozzo. — J'ai opéré sur 6 disques de 20 mm de diamètre et de 0,3 mm d'épaisseur taillés dans la magnétite de Brozzo que je dois à M. Lacroix.

1° Deux disques parallèles à la face du cube. La matière a paru être particulièrement fragile pour la taille des disques dans cette orientation ; ils avaient plusieurs fissures irrégulièrement distribuées, sans allure systématique.

2° Deux disques parallèles à la face du dodécaèdre, l'un des deux présentait une cassure dirigée à peu près suivant un axe binaire, l'autre semblait irréprochable.

3° Deux disques parallèles à la face de l'octaèdre. Ils avaient quelques fissures de peu d'importance. Je leur ai joint un troisième disque de même orientation et de mêmes dimensions, tiré d'un petit cristal de Traverselle particulièrement pur et qui était parfaitement continu.

Il est à remarquer que dans le champ élevé de 353 unités les fissures ont relativement peu d'importance. L'orientation de ces disques est repérée au moment de la taille avec une grande précision grâce aux stries parallèles aux axes binaires qui couvrent toutes les faces dodécaédriques. On taille d'abord une lame d'un peu moins de 1 mm d'épaisseur dans laquelle on découpe le disque après avoir marqué au crayon la direction des axes qu'elle contient. Le disque une fois amené à l'épaisseur voulue, on le colle pour le consolider sur un couvre objet de microscope de même diamètre sur lequel sont tracées d'avance des lignes de repère que l'on fait coïncider au moment du collage avec celles de la magnétite (1).

(1) Ce travail a été fait avec grand soin par M. J. Werlein.

α DISQUES PARALLÈLES A LA FACE DU CUBE. — Les résultats sont contenus dans le tableau suivant ;

M désigne les maxima et *m* les minima d'aimantation.

1er Disque

Aimantation parallèle au champ

Angles	Aimantation
330°	1927 + 2,5
332,3 M axe binaire	
5	— 174,5
12,5 *m* axe quaternaire	
15	— 209,7
25	— 142,1
45	— 21,2
50	— 6,5
58 M axe binaire	
60	0
70	— 14,9
80	— 57,8
100	— 212,0
105 *m* axe quaternaire	1927 — 227,8
110	— 207,1
115	— 165,8
130	— 58,5
140	— 15,5
150 M axe binaire	0
155	— 3,6
160	— 15,0
170	— 61,2
180	— 1343
190	— 212,3
192,5 *m* axe quaternaire	
195	— 214,9
200	— 187,3
210	— 111,5
220	— 46,7
230	— 13,7
239 M axe binaire	
240	— 5,7
250	— 19,3

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles	Aimantation
55°	+ 100
92 M	— 35,8
105	— 2,4
119 M	+ 32,1
140	+ 10,8
172,5	— 25,0
177 M	— 25,9
195	+ 23,1
205,5 M	+ 43,9
210	+ 40,7
225	+ 23,2
240	— 15
255	— 256
265	— 367
271 M	— 391
275	— 371
285	—
295	+
299 M	+
303	+
320	+
340	— 22

2e Disque

Aimantation parallèle au champ

Angles	Aimantation
244° M axe binaire	101,4 — 0
288,5 m » quaternaire	— 12,0
331,4 M » binaire	— 1,4
15,5 m » quaternaire	— 12,4
64,3 M » binaire	+ 0,8
108,3 m » quaternaire	— 12,8

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles	Aimantation
304° M	— 18
0 M	+ 14,3
28,6 M	— 22
88,9 M	+ 19,7
1[illegible]3,7 M	— 13,6
179,3 M	+ 19,4
208,7 M	— 17,2

Seules les observations du premier disque ont été représentées graphiquement dans la figure 13 en portant sur les rayons vecteurs issus d'un point des longueurs proportionnelles à l'aimantation. La courbe extérieure qui représente la composante de l'aimantation parallèle au champ présente nettement la symétrie quaternaire, les maxima d'aimantation correspondent aux axes binaires, les minima aux axes quaternaires.

La courbe plus petite au centre représente la composante de l'aimantation normale au champ. Comme on devait s'y attendre elle passe par l'origine pour les rayons vecteurs qui correspondent aux maxima et aux minima de l'aimantation parallèle au champ. Entre deux directions pour lesquelles elle est nulle l'aimantation normale au champ passe par un maximum qui est plus voisin de la position du minimum de l'aimantation parallèle au champ que du maximum. L'aimantation

tourne donc plus vite que le champ quand il s'écarte d'un axe d'aimantation minima et moins vite quand il s'écarte d'un axe d'aimantation maxima.

Cela était à prévoir. On pouvait même se demander si l'aimantation dans la direction d'un axe de symétrie d'aimantation minima ne serait pas instable et ne tendrait pas à dévier spontanément tantôt du côté de l'un des maxima voisins tantôt du côté de l'autre.

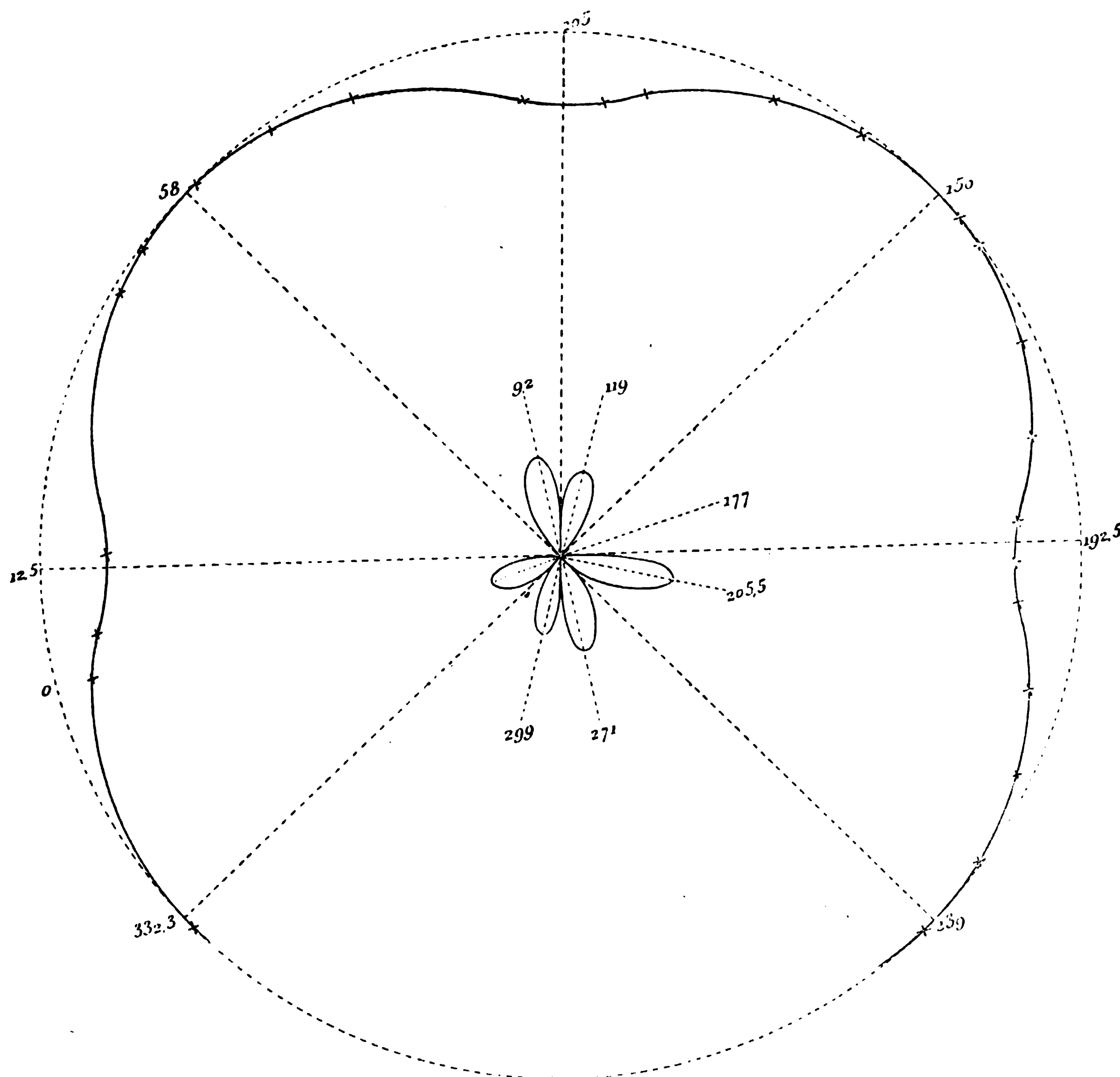


Fig. 13. — *Magnétite de Brozzo*. 1er Disque parallèle à la face du cube. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ. Les lignes pointillées indiquent les maxima et les minima.

Rien au cours des mesures n'a mis sur la voie d'une semblable instabilité et la variation du flux d'induction perpendiculaire au champ a toujours été continue. Il était nécessaire d'établir ce point. Une aimantation instable suivant les axes d'aimantation minima aurait mis en défaut nos conclusions relatives à l'influence des éléments de symétrie du cristal sur la direction de l'aimantation.

La courbe de l'aimantation normale au

champ se compose donc de 8 boucles occupant chacune une région angulaire de 45°. Six d'entre elles seulement ont été déterminées et sont représentées dans la figure 13. Les dissymétries assez grandes qu'elles présentent sont dues probablement aux fissures du disque. Leur influence néanmoins ne masque pas la symétrie quaternaire qui est indiquée avec netteté par la position des six maxima. La figure 14 représente sous une autre forme l'aimantation normale au champ qui est portée en ordonnées, les lectures du goniomètre qui caractérisent la position du disque étant portées en abscises. Cette courbe a été tracée en prenant un point de départ arbitraire pour les ordonnées puisque les mesures ne donnent que leur variations. On a évalué ensuite approximativement la position de l'axe des abscisses correspondant à une aimantation transversale nulle en le faisant passer autant que possible par les points de la courbe qui correspondent

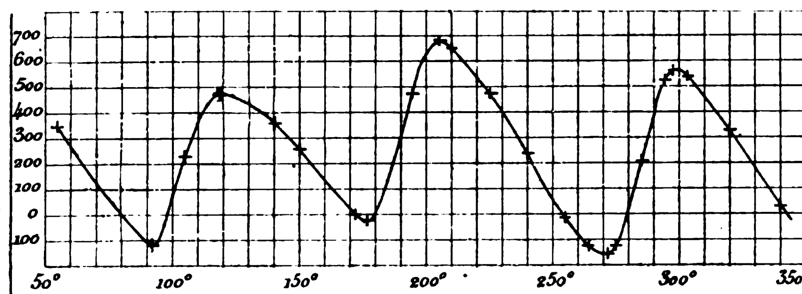


Fig. 14. — *Magnétite de Brozzo.* 1er Disque parallèle à la face du cube. Aimantation perpendiculaire au champ.

aux maxima et minima de l'aimantation parallèle au champ. On s'est servi de ce nouvel axe des abscisses pour la construction de la courbe au centre de la figure 13.

La deuxième série de mesures donne lieu à des courbes identiques et confirme les résultats précédents .

β. DISQUES PARALLÈLES A LA FACE DU DODÉCAÈDRE.

1er *Disque* .

Aimantation parallèle au champ

Angles		Aimantation
321,4 m axe binaire	1254	— 0,9
359,0 M axe ternaire		+ 19,8
56,4 m axe quaternaire		-- 160,4
14,1 M ave ternaire		+ 16,7
143 m axe binaire		0
155		+ 5,8
170		+ 19,2
181,6 M axe ternaire		+ 23,6
190		— 19,2
210		— 26,6
227		-- 107,6
236,8 m axe quaternaire		— 157,6
240		— 145.5

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles	Aimantation
47°	+ 331
68,2 M	— 400
134 M	+ 111
152	— 99
158 M	— 123
164	— 107
179	+ 7
199	+ 204
216	+ 357
222,5 M	+ 382
236	— 22
244	— 363
248 M	— 380
258	— 322
314 M	+ 141
334 M	— 74

2me *Disque :*

Aimantation parallèle au champ

Angles		Aimantation
325,6	1350	-- 59,6
5[illegible],6 m axe quatrn.		— 205,3e
35[illegible],4 M axe ternaire		+ 2,5
81,1 m » binaire		— 9 2

90	— 7,0
100	+ 0,4
110,6 M » ternaire	+ 5,0
140	— 42,6
165	— 182,8
170,6 m » quaternaire	— 207,8
175	— 186,1
180	— 147,4
190	— 89,3
100	— 48,1
200	— 21,2
225	— 1,3
233,7 M » ternaire	0
252	— 10,5

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles	Aimantation
55°	— 1
67,8 M	— 77
92,5 M	+ 117
158,0 M	— 431
165	— 359
170	+ 4
175	+ 312
183,6 M	+ 435
190	+ 411
200	+ 322
215	+ 158
230	— 2
240	— 70
248 M	— 100
272,6 M	+ 94
336,1 M	— 450

J'ai représenté dans les mêmes conditions que plus haut la première série d'observations ; la deuxième conduit à des courbes identiques. L'aspect général des courbes représentant l'aimantation parallèle et perpendiculaire au champ (fig. 15) est encore conforme à ce que faisait supposer la symétrie cubique.

Trois maxima correspondant à des axes ternaires ont été déterminés directement et donnent pour le demi angle aigu entre les axes ternaires les deux déterminations.

32°,5

33°,7.

Rapprochons de ces valeurs celles qui sont déduites des observations sur le deuxième disque de la même magnétite de Brozzo

30°,1

28°,2

et d'un disque de magnétite de Traverselle :

31°,2

31°,7,

ces valeurs ne sont pas trop éloignées de la valeur théorique

35°,16.

Il resterait néanmoins à expliquer pourquoi elles sont systématiquement inférieures. En admettant que le maximum d'aimantation ne coïncide pas rigoureusement avec l'axe ternaire on serait conduit à une variation très compliquée de l'aimantation dans le voisinage de cet axe.

On remarquera la valeur relativement grande de l'aimantation transversale pour les directions du champ comprises entre l'axe ternaire et l'axe quaternaire et la plus grande obliquité par rapport au champ extérieur est de 18°. Or le champ modifié par l'action démagnétisante du disque est incliné par rapport au champ extérieur en sens inverse de l'aimantation (page 27). Il en résulte que l'inclinaison de l'aimantation sur le champ magnétisant vrai est plus grande, et atteint 20° environ.

La figure 16 représente l'aimantation normale au champ en fonction des angles au moyen desquels l'orientation du disque par rapport au champ est caractérisée. On a déterminé sur cette courbe, comme pour le disque parallèle à la face du cube, l'axe des abscisses correspondant à une valeur nulle de l'aimantation transversale et on s'en est servi pour la contruction de la courbe au milieu de la figure 15.

γ. DISQUES PARALLÈLES A LA FACE DE L'OCTAÈDRE.

Les expériences sur les disques parallèles à la face de l'octaèdre ont montré des propriétés sensiblement identiques dans toutes les directions.

1er Disque

Aimantation parallèle au champ

Position des maxima et minima	Variation de l'aimantation
352°	[1900 +] 0

33,3	— 12
61	— 5,3
100,7	— 19,0
168	+ 8,8
222,7	— 12,4

Aimantation perpendiculaire au champ

Position des maxima et minima	Variation de l'aimantation
82°	0

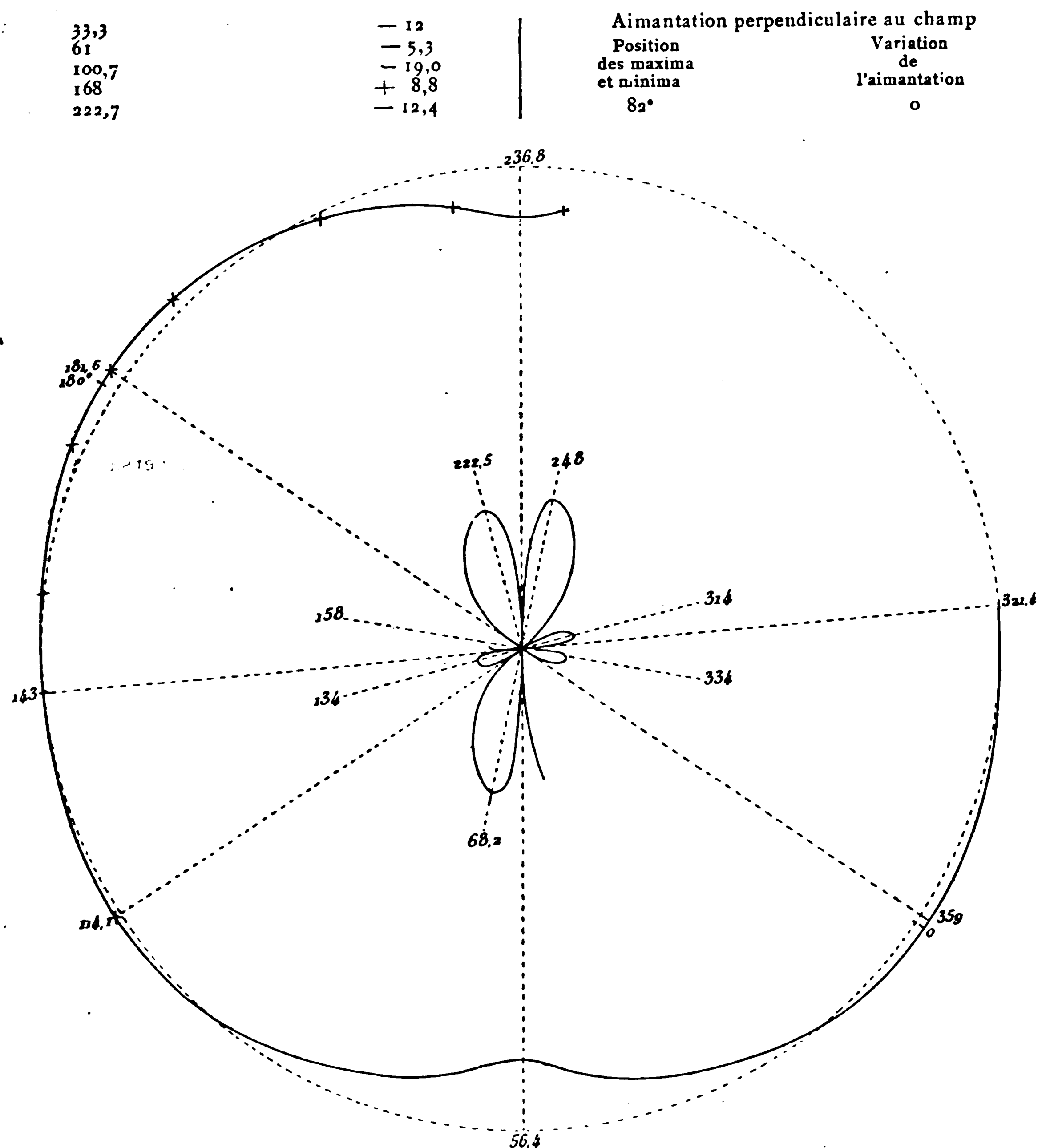


Fig. 15. — *Magnétite de Brozzo.* 1er Disque parallèle à la face du dodécaèdre. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ. Les lignes pointillées indiquent les maxima et minima.

108	+ 13,3
179	— 10,8
219	+ 28,4
264	— 28,7
284	+ 16,0
342	— 10,3

L'aimantation totale étant mesurée par 1 900 environ, l'aimantation parallèle au champ a varié de 0,8 pour 100 de part et d'autre de la valeur moyenne et la composante perpendiculaire au champ est environ de 1,5 pour 100 de l'aimantation totale ce qui conduit à une obliquité inférieure à 1°.

2e Disque

Aimantation parallèle au champ

Les variations atteignent 0,22 pour 100 de l'aimantation totale.

Aimantation perpendiculaire au champ

Maxima et Minima	Variations de l'aimantation
80°5	+ 128,7
139,0	+ 24,7
182,5	+ 65,4
226,0	+ 51,4
260,5	+ 96,1
317,0	0

Une grande partie des variations observées dans le flux perpendiculaire au champ semble tenir à l'influence de l'aimantation résiduelle sur laquelle je reviendrai plus loin.

La composante normale au champ est inférieure à 3,5 pour 100 de l'aimantation totale, ce qui conduit à une inclinaison inférieure à 2°.

3e Disque

Aimantation parallèle au champ [*Traverselle*]

Les variations, très faibles, atteignent 0,16 pour 100 de l'aimantation totale.

Aimantation perpendiculaire au champ

Maxima et Minima	Variations de l'aimantation
53°	+ 15,4
98	— 9,2
127	+ 8,3
240	— 0,4
274	— 20,6
307,5	0

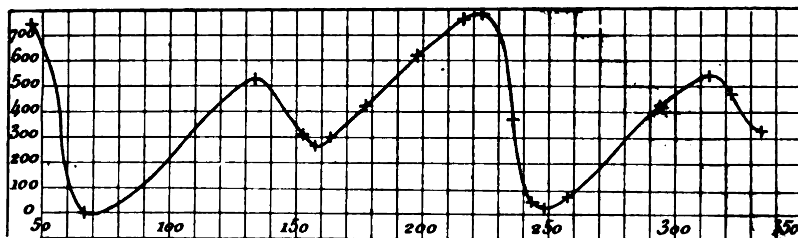


Fig. 16. — *Magnétite de Brozzo.* 1er Disque parallèle à la face du dodécaèdre. Aimantation perpendiculaire au champ.

Les variations de l'aimantation perpendiculaire au champ conduisent à une composante normale au champ au plus égale à 0,7 pour 100 de l'aimantation totale, c'est à dire à moins d'un demi-degré d'obliquité.

Si j'ai donné le détail de ces expériences négatives, c'est parce qu'elles montrent encore que les maxima observés ne correspondent en aucune façon à la symétrie ternaire que l'on pourrait s'attendre à trouver. Il y a plutôt, si tant est que l'on puisse attribuer une signification à des variations aussi petites, une apparence de symétrie analogue à celle du disque parallèle à la face du dodécaèdre. Elle s'expliquerait par une très faible erreur d'orientation de la lame par rapport à l'édifice cristallin.

La petitesse des différences montre d'ailleurs avec quelle précision les disques étaient taillés. J'ai trouvé des variations d'aimantation incomparablement plus grandes dans un disque de même grandeur découpé dans une lame de téléphone. On peut donc conclure que le cristal se comporte comme une substance isotrope pour toutes les directions contenues dans une face de l'octaèdre.

Si l'on porte sur tous les rayons issus d'un point l'aimantation que prend la matière dans un champ de grandeur constante, dirigé suivant le rayon considéré, on obtient donc une surface ayant la symétrie du système cubique. Pour la valeur du champ que nous avons utilisée, elle ressemble à un cube à faces creuses et à arêtes arrondies. Cette surface présente quatre sections cycliques parallèles aux faces de l'octaèdre. Le rapport de l'aimantation dans différentes directions varie beaucoup avec la grandeur du champ. L'aspect de cette surface magnétique doit donc être très variable ; ce qu'il importe plus de noter que

sa forme dans tel ou tel cas particulier, c'est la concordance très satisfaisante de sa symétrie avec celle du système cubique.

En effet l'absence de vérifications optiques de la symétrie cristalline par suite de l'opacité de la magnétite aurait pu inspirer une certaine défiance à l'égard des conclusions tirées uniquement de la forme extérieure du cristal et de l'analogie présumée avec les spinelles. On aurait également pu supposer l'existence de macles plus ou moins dissimulées. Ces deux hypothèses semblent également incompatibles avec la régularité des résultats fournis par lesdisques.

b. — Magnétite de Traverselle. — Les résultats précédents ont été confirmés par des mesures sur deux disques taillés dans l'échantillon de Traverselle que reproduit la photographie figure 1, page 488, et que je dois à M. Friedel. L'un des disques est parallèle à la face du cube, l'autre à la face du dodécaèdre. Cette magnétite très fragile et clivable dans les portions centrales du cristal suivant des plans parallèles aux faces octaédriques n'a pu fournir de barreaux satisfaisants.

DISQUE PARALLÈLE A LA FACE DU CUBE

Aimantation parallèle au champ

Angles	Aimantation
322° M axe binaire 992	— 0,3
4,3 m » quaternaire	— 111,8
52,3 M » binaire	+ 0,4
94,2 m » quaternaire	— 104,8
139,2 M » binaire	0
165,0	— 58,5
186,0 m » quaternaire	— 112,3
192,5	— 104,0
200,0	— 77,3
215	— 21,0
225	— 3,7
231 M » binaire	— 1,8
240	— 10,2

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles	Aimantation Résultat brut compté à partir d'un zéro arbitraire Courbe I	Résultat corrigé du zéro et de l'aimantation résiduelle Courbe II
45°	+ 7	— 30
76,8 M	+ 157	+ 108
111,0 M	+ 46	— 108
167,9M	+ 191	+ 117
185	+ 86	+ 12
202,6 M	— 10,9	— 97
220	+ 46,3	— 52
230	+ 107,5	+ 10
240	+ 155,2	+ 69
256 M	+ 210,2	+ 112
293 M	0	— 110
330	+ 174	+ 52

DISQUE PARALLÈLE A LA FACE DU DODÉCAÈDRE

Aimantation parallèle au champ

Angles	Aimantation
320,7 m axe quaternaire	896 — 4,0
20,5 M » ternaire	+ 143,2
59 m » binaire	+ 106,7
70	+ 113,3
83 M » ternaire	+ 120,3
140 m » quaternaire	+ 0
170	+ 89,1
200,5 M » ternaire	+ 141,3
236	+ 104,8

Aimantation perpendiculaire au champ
Résultat brut compté à partir d'un zéro arbitraire

Angles	Aimantation
69,0 M	0
116,1 M	103,0
164,2 M	54,4
223,0 M	106,8
247,6 M'	92,9
299,3 M	195,1

(A suivre). PIERRE WEISS

LA MESURE DES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Les courants de haute fréquence, c'est à dire les décharges oscillantes des condensateurs, ayant été introduits dans la pratique médicale par M. le docteur d'Arsonval à la suite de ses beaux travaux sur leurs propriétés physiologiques, il a fallu réaliser des appareils qui permettent de les obtenir dans des conditions pratiques un peu définies, et même s'ingénier à *mesurer* jusqu'à un certain point les grandeurs physiques qui les caractérisent, pour avoir des points de repère dans les applications.

Nous n'avons pas à revenir ici sur les ap-

pareils qui sont bien connus, nous nous proposons seulement d'indiquer les points essentiels qui caractérisent une oscillation et de montrer comment on a pu mesurer certaines valeurs moyennes.

En passant, nous signalerons quelques phénomènes curieux observés au moyen des nouveaux appareils de mesure.

La décharge oscillante d'un condensateur, dans le cas représenté par le schéma figure 1, se compose, comme on le sait, d'une série d'ondes alternatives, d'une fréquence déterminée, c'est à dire que les passages par zéro

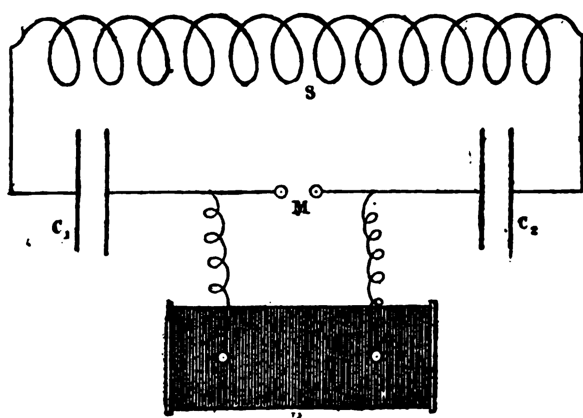


Fig. 1.

de l'intensité sont séparés par des intervalles constants.

Le fait a été mis hors de doute par les belles expériences de Feddersen ; plus récemment Trowbrigde a repris la même méthode avec des moyens plus puissants [1].

L'intensité de la décharge et par conséquent la différence de potentiel aux armatures du condensateur vont en décroissant suivant une loi que la théorie élémentaire du phénomène indique être une progression géométrique.

Dans le cas, qui nous occupe ici, où la charge est renouvelée périodiquement par le jeu d'une bobine d'induction ou par un transformateur à courant alternatif, le phénomène prend donc en gros la forme représentée figure 2. Un point qui reste obscur dans cette représentation, et qui, à notre connaissance n'a été ni soulevé, ni par suite, élucidé, c'est ce qui se passe à la fin de l'oscillation ; il y a forcément un moment où le résidu de charge du condensateur ne peut plus franchir l'intervalle du déchargeur M, si conducteur que l'air en ait été rendu par les décharges précédentes. On conçoit donc dès à présent qu'il y a forcément une partie de la charge qui s'équilibre en passant au travers du secondaire de la bobine d'induction, une sorte de retour du courant de charge.

La période étant connue, il resterait à mesurer les maxima successifs du potentiel de charge et du courant dans le solénoïde ; ce sont évidemment ces valeurs qui sont les plus intéressantes, en particulier au point de vue physiologique.

On a une idée, mais combien peu précise, du premier maximum du potentiel de charge, par la distance des boules du déchargeur. Le potentiel de charge est égal au potentiel explosif. Quant au courant instantané, la théorie élémentaire des circuits à courant alternatif montre que l'on doit avoir la relation suivante entre la période T, le potentiel de charge V_0, l'intensité maxima correspondante I_0 et le coefficient de self-induction L du circuit :

$$I_0 = \frac{V_0 T}{2 \pi L}. \qquad (1)$$

Nous ne connaissons aucune méthode applicable à la mesure directe de ces quantités ; quant à la fréquence, la méthode photographique est la seule qui soit absolument rigoureuse. On peut néanmoins se rendre compte de l'ordre de grandeur, en appliquant la formule de Thomson :

$$T = 2 \pi \sqrt{LC}.$$

Malheureusement, dans les appareils pratiques, elle est difficilement applicable pour deux raisons :

1° La capacité du condensateur est mal

[1] Voir *La Lumière Électrique*, t. XXXIX, p. 438, 1891 ; t. XLII, p. 40, 1891 ; t. L, p. 84, 1893. — *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 183 et 606, 1894 ; t. III, p. 424, 1895.

définie avec les diélectriques solides (carreaux de verre) ; cette capacité est en outre modifiée par la charge superficielle du solénoïde lui-même, qu'il est impossible de calculer.

2° Enfin la self-induction est difficile à calculer exactement avec les solénoïdes employés en pratique. (1)

Un dernier élément important à connaître, c'est la période même du générateur, qui détermine le renouvellement périodique des oscillations amorties.

En dehors de ces grandeurs réelles, on peut se proposer de mesurer des valeurs moyennes qui sont intéressantes au point de vue des applications, et qui le sont d'autant plus qu'on se sert d'appareils générateurs placés dans les mêmes conditions.

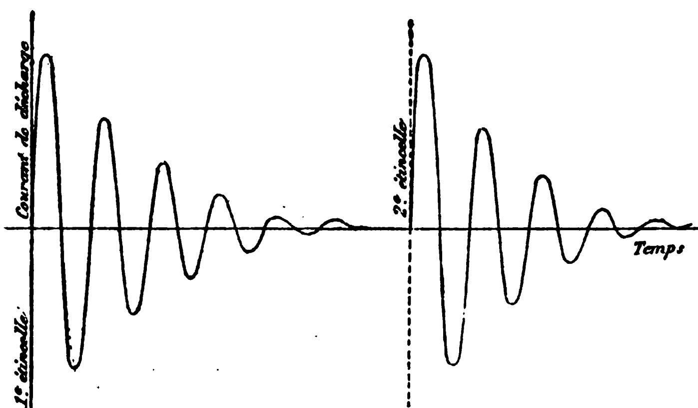


Fig. 2.

Les deux appareils que nous allons décrire ont uniquement pour but la mesure de ces valeurs moyennes, soit l'intensité efficace moyenne qui passe dans le solénoïde ou dans un circuit dérivé, le malade par exemple, soit la différence de potentiel moyenne efficace qui existe entre deux spires d'un solénoïde, d'où l'on peut déduire par des mesures successives la tension totale sur le solénoïde.

On peut également déterminer au moyen de l'un d'eux la f. é. m. induite dans une spire isolée soumise à l'action inductive d'un solénoïde. Nous insistons sur ce fait qu'ils ne donnent qu'une mesure de *l'intensité du courant au point de vue des effets thermiques* qu'il peut produire, soit directement, soit par induction.

Galvanomètre thermique. — Les premières estimations d'intensité ont été obtenues par M. d'Arsonval en mesurant la flèche prise par un fil tendu. Sur ce principe, nous avons construit au laboratoire Volta, dès 1894, un appareil à lecture directe sur un cadran divisé, et consistant en un fil fin tendu sur des poulies par l'action d'un ressort. On amplifie le déplacement de l'extrémité libre par des leviers et une transmission à poulie. Les appareils sont construits actuellement par la maison Gaiffe et Cie. (Voir fig. 3.)

Avec un fil de platine allié de 8/100 de mm, on peut lire de 30 milliampères à 200 milliampères, ou, la résistance étant d'environ 200 ohms, de 5 volts à 40 volts.

Cet appareil sert dans les applications directes du courant de haute fréquence, à mesurer le courant qui passe dans le sujet. Comme voltmètre, il permet de mesurer la

(1) En appliquant cette formule au cas d'un des appareils de la maison Gaiffe et Cie, avec petit solénoïde d'une vingtaine de tours, pour lequel $L = 0{,}000\,018$ q., et en estimant la fréquence à 1200 000 d'après la capacité *statique*, ($C = 0{,}00\,21$ *mf*, on trouverait pour un potentiel de charge de 15 000 volts (distance explosive environ 4 mm) :

$$I_0 = 154 \text{ A}.$$

Nous ne donnons ce chiffre que pour montrer de quel ordre de grandeur peuvent être ces courants instantanés.

Il est certain en effet, d'après les expériences, que la formule (1) ne rend pas compte exactement des phénomènes.

En effet, on observe qu'avec de grandes self-inductions, la différence de potentiel maxima aux bornes du solénoïde (déterminée par la distance explosive) est plus grande que la différence de potentiel au déchargeur, tandis que la théorie élémentaire indique qu'elles devraient être égales.

Au contraire avec des solénoïdes très courts, la distance explosive aux bornes du solénoïde est toujours plus petite que l'écart des boules au déchargeur.

Les différences sont beaucoup plus faibles dans le cas du dispositif simple de Tesla.

tension aux extrémités d'une spire des solénoïdes, ou la f. é. m. induite dans une spire isolée.

Pour que les mesures soient correctes, l'appareil étant gradué avec du courant continu, il faut avant tout que la résistance ohmique du fil ne soit pas sensiblement affectée par la fréquence. C'est la seule condition nécessaire pour un ampèremètre.

La résistance ohmique d'un fil de diamètre d, de résistance spécifique ρ, pour un courant de fréquence f peut être mise sous la forme :

$$R_a = R_c\left[1 + \frac{\pi^4}{48}\frac{d^4 f^2}{\rho^2} - \ldots\right],$$

R_c étant la résistance ordinaire.

En appliquant cette formule à notre cas



Fig. 3.

($l = 140$; $\rho = 65\ 10^3$) et pour la fréquence 10^6, on trouve que la résistance ne varie que de 2 millionièmes de sa valeur.

Ces appareils ne peuvent être appliqués dans de bonnes conditions à la mesure des courants intenses qui circulent dans le solénoïde même où se produit l'oscillation ; en effet, avec un fil de laiton de 2/10 de millimètre qui permet de mesurer jusqu'à 1 ampère, l'erreur serait déjà de 3 millièmes environ et l'on a encore une résistance de 4 ohms environ, c'est à dire que l'on dépense quatre watts pour un ampère.

Employé comme voltmètre, il faut de plus que la self-induction du fil soit négligeable devant la résistance.

Or dans notre cas, le coefficient de self-induction calculé au moyen de la formule

$$L = 2l\left(\log\frac{4l}{d} - 0.75\right),$$

applicable au cas de la répartition uniforme, est égal à $3\ 10^{-6}$ quadrant.

Donc, pour la fréquence 10^6, l'erreur due à la self-induction ne serait que de 1/2 p 100.

Pour la mesure de la f. é. m. induite dans une spire, il faut en outre que la self totale du circuit soit également négligeable devant la résistance. C'est généralement le cas [1]. Cette dernière mesure est particulièrement intéressante car cette f. é. m, moyenne est évidemment proportionnelle à l'intensité moyenne des courants induits dans la masse du sujet dans la méthode de l'auto-conduction.

Quel que soit le mode d'emploi, il faut enfin que la capacité propre du fil ne puisse donner lieu à un courant appréciable. En la calculant d'après la formule de Blavier, relative à la capacité d'un fil de diamètre d, à la distance h d'un plan :

$$C = \frac{l}{2\log_e \frac{2h}{d}},$$

et en prenant la moitié seulement, par le fait qu'un des bouts du fil est au même potentiel que la masse métallique de l'appareil, on trouve que la résistance apparente qui en provient : $R = \frac{1}{\omega C}$ est encore égale à plus de 25 000 ohms pour la fréquence 10^6. L'erreur de ce chef est donc insignifiante dans tous les cas.

(1) En effet, on a dans les courants sinusoïdaux :

$$e_{eff} = i_{eff}\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}.$$

Pour pouvoir déduire e de i et de R, il faut que le second terme soit négligeable.

Or la self-induction d'un fil de 1 mm de diamètre enroulé en une circonférence de 1 m de diamètre étant égale à $4,5\ 10^{-6}$ quadrant et celle du fil de l'appareil à 3.10^{-6}9, il en résulte que pour la fréquence 10^6, l'erreur n'est encore que de 2,5 o/o.

Ampèremètre d'induction. — Pour les courants intenses, nous avons combiné avec M. Gaiffe un appareil à déviation basé sur la répulsion des courant induits par le courant inducteur.

Nous le décrirons en deux mots, avant d'en donner la théorie.

Il se compose d'un solénoïde fixe comprenant 12 tours de fil nu de 1,5 mm, enroulé sur un diamètre de 32 mm, la longueur totale étant d'environ 50 mm (Voir fig. 4).

Au centre du solénoïde, est suspendu un petit anneau en aluminium de 22 mm de diamètre.

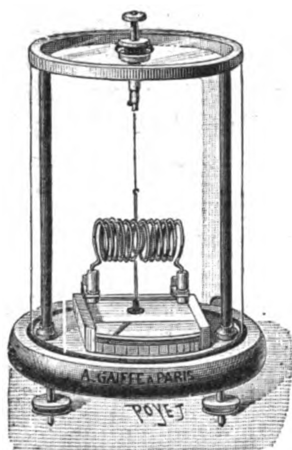


Fig. 4.

Le fil de suspension est du platine de 4/100 mm.

L'anneau est solidaire d'une aiguille très légère, qui, se déplaçant entre une glace et un plan peu écarté sert à amortir le mouvement.

Le plan du disque fait un angle initial de 15° environ avec les spires du solénoïde. Un courant de 0,8 A produit déjà une déviation notable, et pour 2,2 A le disque est presque perpendiculaire aux spires fixes. L'appareil a été gradué entre ces limites en le mettant en série avec deux appareils thermiques à fil de laiton disposés en dérivation l'un sur l'autre, le tout dans un solénoïde parcouru par l'oscillation électrique. On s'est rendu compte que les déviations sont indépendantes de la fréquence. De plus, un anneau semblable en cuivre a donné sensiblement la même échelle.

Dans toutes les conditions, un appareil thermique et ce nouvel appareil donnent les mêmes indications, autant que l'on peut en juger, car les lectures sont toujours peu précises à cause de l'irrégularité du phénomène qui provient soit de l'irrégularité du trembleur, soit de l'irrégularité du souffleur.

Théorie de l'appareil.

Soit

$$i_1 = I_1 \sin \omega t \qquad \text{avec } \omega = \frac{2\pi}{T},$$

le courant à mesurer, supposé sinusoïdal, en négligeant l'amortissement, et soit M_α le coefficient d'induction mutuelle de l'anneau et du solénoïde, variable avec l'angle α de l'anneau et des spires.

La f. é. m. induite dans l'anneau est

$$e_2 = -M_\alpha \frac{d i_1}{d t} = -M_\alpha \omega I_1 \cos \omega t,$$

et le courant correspondant

$$i_2 = -\frac{M_\alpha \omega I_1 \cos \omega (t - t_0)}{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}} \qquad \text{avec } \operatorname{tg} \omega t_0 = \frac{\omega L_2}{R_2},$$

Le couple qui agit sur l'anneau est donné par la formule

$$C = \frac{d M_\alpha}{d\alpha} \int_0^T \frac{i_1 i_2 dt}{T} = \frac{dM}{d\alpha} \frac{M_2' 2\pi^2 I_1^2 L_2}{T^2 \left(R_2^2 + \frac{4\pi^2 L_2^2}{T^2}\right)}.$$

Lorsque la fréquence est relativement faible la formule se ramène à

$$C = \frac{dM}{d\alpha} \frac{M\alpha' 2\pi^2 I_1^2 L_2}{T^2 R_2^2} = f_1(\alpha) i^2_{eff} f^2.$$

Nous avons vérifié avec des fréquences variables de 40 à 400, que la déviation était sensiblement constante lorsque le produit *i. f.* était constant.

Au contraire quand la fréquence est très grande, le couple prend la forme :

$$C = \frac{dM}{d\alpha} M_\alpha \frac{i^2_{eff}}{L^2} = f_2(\alpha) i^2_{eff}.$$

C'est le cas limite correspondant aux conducteurs sans résistance, les courants induits

étant en opposition avec le courant inducteur et les flux nuls.

Quand cette limite est-elle pratiquement atteinte ?

Posons par exemple .

$$R_2^2 = \frac{1}{100} \frac{4\pi^2 L_2^2}{T^2};$$

à partir de la fréquence

$$\frac{1}{T} = \frac{10}{2\pi} \frac{R_2}{L_2},$$

les déviations seront sensiblement indépendantes de la fréquence.

En assimilant l'anneau d'aluminium à un tore de même section, on aurait :

$$R_2 = 5{,}2\ 10^{-4}\ \text{ohm}\ ; \quad L_2 = 36\ 10^{-9},$$

d'où

$$\frac{1}{T} = 23000 \text{ environ.}$$

Ainsi, à partir de la fréquence 20 000 cet appareil mesure les intensités qui sont *équivalentes* au point de vue de l'induction à un courant sinusoïdal de même intensité efficace (¹).

Mesures absolues. — Le même appareil pourrait facilement, si on le désirait, être transformé en un appareil absolu. Il suffirait pour cela de le ramener toujours dans une position déterminée, à 45° par exemple, au moyen d'un bouton de torsion ; dans ce cas, les torsions seraient proportionnelles aux carrés des intensités efficaces. En donnant au solénoïde et à l'anneau des dimensions bien déterminées qui permettent le calcul des quantités M_α, L, $\frac{dM}{d\alpha}$, et connaissant la constante de torsion du fil (mesure facile à effectuer au moyen d'une masse connue et d'un temps d'oscillation) on déterminerait la constante de l'appareil.

(¹) Un raisonnement analogue montre que l'appareil employé par M. d'Arsonval, et dans lequel on mesure l'élévation de la température d'un thermomètre soumis à l'action inductrice d'un solénoïde, est un ampèremètre, à condition que la masse où naissent les courants induits, soit telle que la répartition du courant soit indépendante de la fréquence.

Pour nous rendre compte de la grandeur des efforts mis en jeu, nous avons fait le calcul suivant, en assimilant le solénoïde fixe à un solénoïde indéfini de même pas. Les efforts calculés sont donc trop forts.

On a alors, en désignant par α l'angle de l'axe du solénoïde et du plan de l'anneau, par S la surface de l'anneau et par n_1 le nombre de tours au centimètre.

$$M_\alpha = H_{i=1}\, S\cos\alpha = 4\pi n_1 S\cos\alpha,$$

$$\frac{dM}{d\alpha} = -4\pi n_1 S\sin\alpha,$$

$$L = 2l\left(\log\frac{l}{d} - 1{,}5\right),$$

l étant la longueur de la circonférence moyenne et d le diamètre de la section correspondante de l'anneau assimilé à un tore.

En introduisant les valeurs numériques

$$n_1 = \frac{12}{5} = 2{,}4\ ;$$

$$S = \frac{\pi}{4} 2{,}0^2 = 3{,}14\ \text{cm}^2\ ; \ l = \pi 2 = 6{,}28\ ; \ d = 0{,}2.$$

il vient

$$M_\alpha = 87\cos\alpha \text{ C. G. S.},$$

$$\frac{dM}{d\alpha} = -87\sin\alpha \text{ C. G. S.},$$

$$L = 25 \text{ C. G. S.}$$

La constante de torsion d'un fil de platine de 4/100 mm, est, pour une longueur de 6,5 cm :

$$K = 2{,}7 \text{ C. G. S.}$$

L'équation d'équilibre :

$$K\left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \alpha_0\right) = \frac{dM}{d\alpha} M_\alpha \frac{i_{eff}^2}{L_2},$$

devient alors, en appelant φ l'angle de déviation $\frac{\pi}{2} - \alpha - \alpha_0$,

$$i_{eff}^2 = \frac{\varphi}{56\sin 2\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right)}.$$

En construisant la courbe $i = f(\varphi)$ et en reportant sur l'axe des φ les valeurs entières de i, on obtient l'échelle graduée de l'appareil. En réalité, la sensibilité de l'appareil est sensiblement moins grande ; la différence provient du fait que le solénoïde est très court

au lieu d'être infini et que la suspension est en fil un peu supérieur à 4/100 mm.

Enfin, comme nous l'avons dit, la théorie s'applique à un courant sinusoïdal, ou à une série d'ondes sinusoïdales, l'amortissement peut modifier le rapport numérique entre le courant inducteur et le courant induit. Le fait que les indications sont sensiblement comparables à celles d'un appareil thermique dans des conditions très variées montre que ce rapport, quel qu'il soit, varie peu avec les conditions de l'oscillation.

Résultats d'expériences. — Au moyen d'un galvanomètre thermique inséré dans le circuit de la bobine d'induction, on a vérifié qu'il y avait une fraction notable du courant, 8 à 10 pour 100 environ, qui retournait dans le circuit secondaire.

Afin de bien mettre le fait en évidence, nous avons relié une seconde bobine identique en dérivation sur le déchargeur, mais non active ; elle se trouve donc dans les mêmes conditions que la bobine qui sert de source, et nous avons encore trouvé un courant de même ordre, soit environ 80 milliampères. L'oscillation électrique ne passe donc pas entièrement par l'étincelle comme on l'admet généralement. Le fait s'explique facilement par la capacité propre du fil fin noyé dans l'arcanson.

Dans le circuit même du solénoïde, il passe un courant variant de 1 à 2 ampères. Pour un même écartement des boules, c'est à dire pour un même potentiel de charge, et avec les mêmes capacités, on trouve que le courant est d'autant plus grand que la self-induction est plus faible.

Comme l'énergie fournie est constante, il faut donc qu'il y ait quelque part une dissipation d'énergie plus considérable dans le cas des basses fréquences ; nous avons, en effet, trouvé que les condensateurs s'échauffaient davantage pour les basses fréquences.

En se servant de deux appareils thermiques, on vérifie qu'il y a toujours proportionnalité entre les volts moyens pris en dérivation sur une ou plusieurs spires, et la f. é. m. induite dans une spire isolée, quelle que soit la source et quel que soit le réglage du déchargeur. La raison théorique en paraît évidente.

Enfin, avec plusieurs appareils thermiques et avec de petites lampes à incandescence, nous avons pu vérifier que les lois ordinaires des courants dérivés se vérifient pour les résistances inertes. Elles sont naturellement complètement modifiées dès qu'il y a self-induction ou capacité en jeu ; c'est ainsi qu'on trouve pour le corps humain une résistance apparente beaucoup plus faible que pour les courants ordinaires, 600 ohms environ dans un cas, de la main à la main, avec de fortes électrodes cylindriques en métal.

Il y a donc toujours dans ces applications une bonne partie du courant qui se porte à la surface sous forme de charge alternative. Cet effort est purement électrostatique et n'a rien à voir avec l'inégale répartition due à la haute fréquence.

E. MEYLAN.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Sur le prix de l'énergie électrique à l'étranger.

L'*Elektrotechnische Zeitschrift* vient de publier une statistique intéressante sur le prix de l'énergie électrique produite par les stations centrales les plus importantes d'Allemagne, Suisse, Autriche, Suède et Norvège.

Sans énumérer les nombreux établissements cités par notre confrère dans son numéro du 25 juin, nous indiquerons les points les plus importants de cette statistique.

L'Allemagne qui, comme on le sait, tient la tête parmi les contrées européennes par le nombre de ses lignes de tramways électriques est également réputée comme vendant l'énergie électrique meilleur marché que partout ailleurs ; aussi le nombre des applications de l'électricité y est-il sans cesse croissant.

Parmi les 180 stations centrales en exploi-

tation dans le courant de l'année 1894-1895, nombre qui est aujourd'hui considérablement accru [1], 32 des plus importantes fournissaient l'énergie électrique au prix moyen de 0,07 fr l'hectowatt-heure pour l'éclairage et à raison de 0,025 à 0,045 fr l'hectowatt-heure pour la force motrice. De ces 32 stations, 27 sont à courant continu et avec batteries d'accumulateurs, à l'exception de trois qui produisent du courant continu à 550 volts, directement utilisé pour tramways électriques.'

Le système de distribution à trois fils paraît être le plus en faveur dans cette contrée; il est employé dans la presque totalité des stations énumérées ; on ne compte, en effet, dans le nombre que 3 systèmes à deux fils et un à cinq.

A Christiana, Stokolm, l'énergie électrique valait en 1894-95 de 0,066 à 0,067 franc l'hectowatt-heure avec un rabais de 5 à 25 pour 100 selon l'importance de la quantité consommée.

La station de Chemnitz (courant triphasé) fournissait l'énergie électrique à raison de 0,07 fr l'hectowatt-heure pour l'éclairage et à 0,018 fr, pour la force motrice termine cette liste qui peut servir à établir une comparaison avec le prix de l'électricité en France.

L. D.

Générateur tubulaire sursaturateur à ozone.

Ce générateur, construit par M. Gaston Séguy à la suite d'une série d'études sur l'ozone, est constitué par plusieurs tubes étroits avec spirales intérieures et extérieures en aluminium. Les spirales intérieures sont reliées par un fil à l'un des pôles d'une bobine d'induction, dont l'autre pôle est relié aux extrémités des spirales extérieures, plus serrées que les premières.

La figure 1 représente l'ensemble d'un appareil producteur d'ozone. En B, sont trois générateurs tubulaires à 7 petits tubes, traversés par l'air ou l'oxygène à ozoniser de M en A. En E sont trois bobines d'induction à trembleurs F et interrupteurs G et dont le circuit primaire est relié aux deux barres I et H, communiquant avec les pôles d'une petite dynamo J.

Des analyses quantitatives, faites par M. Marmier, agrégé-préparateur à l'Institut Pasteur, sur l'ozone obtenu au moyen des producteurs Seguy, ont donné les résultats suivants :

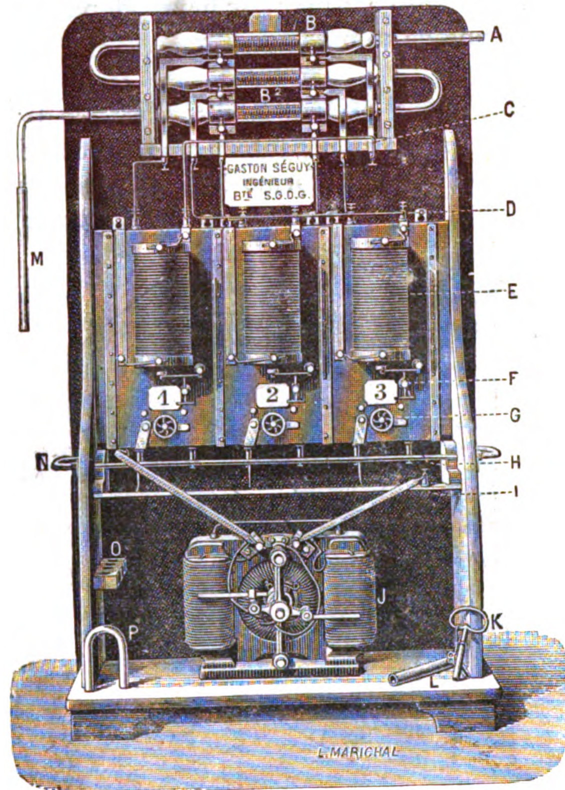


Fig. 1 — Générateur tubulaire sursaturateur à ozone. *G. Séguy.*

OZONE OBTENU PAR LE PASSAGE DE L'AIR

Volume....	1 lit.	Ozone pur 17 mgr
Température..... .	4 à 5°	
Temps	4 min	
Force électromotrice	6 volts	
Débit en ampères ..	8 amp	
Transformation. ...	30000 volts	
Moyenne obtenue par heure.......		170 mgr

Toutes choses égales, sauf le débit en ampères moindre que 8, l'appareil donne 1,3 gr à 2 gr par cheval-vapeur.

---

[1] Voir Statistique des Stations Centrales en Allemagne, *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 414, 30 mai 1896.

En opérant avec l'oxygène pur à la température de 2 à 6°, dans les mêmes conditions qu'avec l'air, on a obtenu 62 mgr d'ozone en 30 secondes et par litre.

En augmentant la vitesse du débit, c'est à dire du passage du gaz soumis à l'effluve, on peut obtenir 250 mgr par heure, donnant un moyenne de 56 mgr par litre.

Instruments de mesure Siemens et Halske.

Le principe si élégant du siphon-recorder, appliqué sous une forme éminemment pratique dans le galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval, fait depuis quelques années la base de voltmètres et d'ampèremètres industriels très appréciés. Les instruments Weston sont un exemple de cette application.

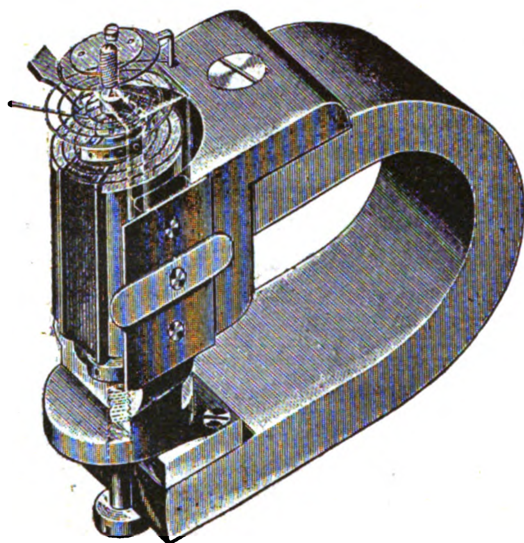


Fig. 1. — Organes principaux des instruments de mesure. Siemens et Halske

La maison Siemens et Halske vient à son tour de créer un certain nombre de modèles industriels d'instruments basés sur l'action réciproque entre une bobine mobile et un champ magnétique fixe.

La disposition des principaux organes est indiquée par la figure 1 (1), dans laquelle, pour la clarté du dessin, la moitié de gauche de l'aimant a été supprimée. La disposition de l'équipage mobile entre les pôles de l'aimant (et non parallèle à ses branches comme on le fait d'habitude) contribue beaucoup à la symétrie du champ. Des précautions particulières sont prises pour assurer le centrage exact du système, c'est à dire la coïncidence des axes du noyau de fer cylindrique, de la bobine et des surfaces cylindriques des pièces polaires. On obtient ainsi une répartition très uniforme des lignes de force radiales sur une grande partie de la circonférence totale du noyau cylindrique et, par suite, proportionnalité parfaite, même pour les très grandes déviations angulaires, entre l'intensité du courant et la déviation.

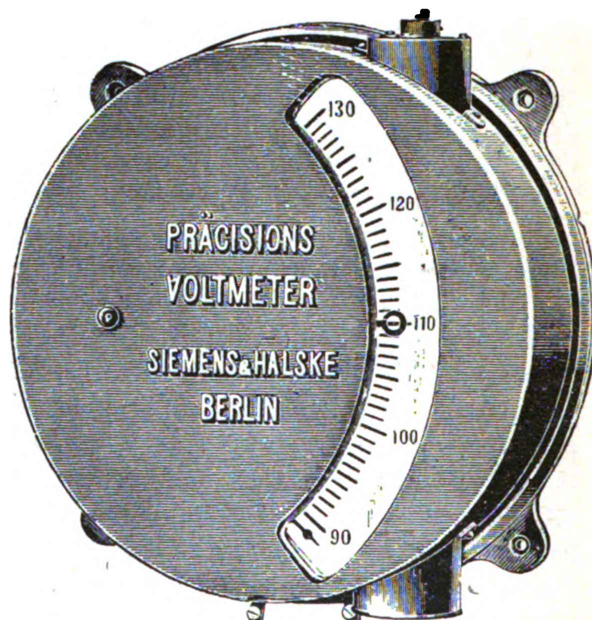


Fig. 2 — Voltmètre de précion pour stations centrales.

L'axe de la bobine étant monté sur pointes, la force antagoniste proportionnelle aux déviations est fournie par deux ressorts spiraux présentant très peu d'hystérésis, et qui servent en même temps d'abducteurs du courant.

On a construit sur ce modèle des voltmètres et des ampèremètres de 0 à 140 volts ou ampères ; de même des millivoltmètres et milliampèremètres dont l'échelle est divisée en 150 parties correspondant chacune à un millième de volt ou d'ampère.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 30 avril 1896.

La figure 2 représente le voltmètre de précision pour stations centrales. L'échelle, transparente, est éclairée par derrière par une lampe à incandescence, placée, pour éviter l'échauffement de l'instrument, dans un cylindre de verre, ouvert aux deux extrémités.

L'emploi des shunts et des résistances additionnelles ne présente rien de particulier; notons seulement qu'on les confectionne en manganine, alliage d'une résistivité très grande et peu variable avec la température. Pour la mesure des grosses intensités par la détermination de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance connue traversée par cette intensité, on construit cette résistance en un tube de manganine pris dans une masse de paraffine. La paraffine est préférable aux liquides, parce qu'elle est plus facilement transportable. Elle refroidit d'ailleurs tout autant qu'un liquide. Son point de fusion étant à 56° C et sa chaleur latente de fusion de 35,1 calories par kilogramme (chaleur spécifique 0,6), la fusion d'un kilogramme de paraffine initialement à la température ambiante de 20° exige 57 calories, soit 238000 joules. La résistance que l'on emploie avec le millivoltmètre de 1 ohm étant $\frac{1}{9999}$ ohm, on voit que cette quantité de chaleur est produite par un courant de 1500 ampères agissant pendant 17 minutes, temps largement suffisant pour l'opération. Pour permettre d'ailleurs de laisser ces résistances en circuit, elles sont munies d'un serpentin réfrigérant en cuivre, dans lequel on peut faire passer un courant d'eau.

A. H.

Nouvel instrument thermique pour la mesure des courants, par R.-M. Friese [1].

Les instruments de mesure pouvant être employés à la fois pour les courants alternatifs et pour les courants continus sont : 1° les appareils construits sur les principes de l'électrodynamomètre ; 2° l'électromètre et 3° les instruments thermiques.

[1] *Beiblatter*, vol. 20, n° 3, p. 312.

L'emploi de l'électrodynamomètre nécessite l'emploi d'une résistance sans self-induction et de capacité nulle afin que l'impédance de l'appareil lui-même n'ait pas à être prise en considération. Ce procédé appliqué à la mesure de faibles différences de potentiel est, d'après l'auteur, peu avantageuse.

L'électromètre donne bien la valeur exacte des courants continus ou alternatifs, mais il a l'inconvénient de présenter quelques difficultés relativement à la pratique.

Les instruments thermiques présentent l'avantage de pouvoir être également employés pour la mesure des courants continus et des courants alternatifs ; de plus, ces appareils sont complètement insensibles à toute influence extérieure ; enfin leur impédance peut être très petite et négligeable. Aussi l'auteur s'est-il efforcé de rendre ces instruments comparables aux autres sous le rapport de la précision.

L'appareil qu'il a imaginé dans ce but se compose d'un fil enfilé dans un long tube de verre fixé sur une boîte ; l'extrémité supérieure de ce fil est attachée en haut du tube, l'autre extrémité est fixée à l'un des bras, l_1 d'un levier, ou fléau de balance qui est suspendu à la partie inférieure du couvercle de la boîte. Au même bras du fléau est attachée l'extrémité d'un petit ressort en spirale, qui, d'autre part. est retenu par une vis placée dans le fond de la boîte et sert à maintenir la tension du fil.

A l'autre bras, l_2 du fléau est fixé un fil métallique attaché d'autre part, au fond de la boîte à l'aide d'un ressort plat Ayrton et Perry ; la tension de ce ressort est réglée pour maintenir les deux bras du fléau en équilibre. Sur l'extrémité supérieure dudit ressort est monté un petit miroir disposé de manière à projeter un rayon de lumière, arrivant par une fenêtre pratiquée dans une des parois de l'enveloppe, sur une échelle graduée où se font les lectures. Une petite tige fixée sur la tête du ressort Ayrton et Perry et terminée par une petite plaque plongée dans un bain de pétrole raffiné contenu dans le fond de la

boîte qui, à cet effet, est parfaitement étanche, sert à amortir les oscillations du miroir.

L'appareil fonctionne de la façon suivante : dès que le fil d'épreuve chauffé par un courant s'allonge sous l'action calorifique, le ressort en spirale agissant sur le bras l_1 du fléau l'attire vers le bas, ce qui, par conséquent, élève l'autre bras l_2 ; cette action augmente la tension du ressort Ayrton et Perry et imprime à la partie supérieure de ce ressort sur laquelle est monté le miroir, un mouvement rotatoire.

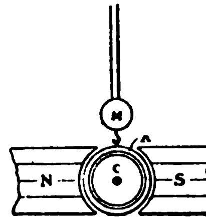
L. D.

Galvanomètre Crompton-d'Arsonval.

M. Crompton construit sous la forme représentée par les figures 1 à 6 un galvanomètre dérivant du type Deprez-d'Arsonval.

Les aimants circulaires plats se terminent en pointes à leurs pôles. La bobine mobile est annulaire, le noyau de fer un disque circulaire épais. La bobine oscille entre deux rondelles qui limitent son déplacement et peuvent être écartées ou rapprochées l'une de l'autre à l'aide d'une vis. La suspension est bifilaire. Les deux brins s'enroulent sur les tiges terminant des molettes PP (fig. 2) tournant dans des supports pp fixés sur une tête moletée en ébonite E. Le bras A qui supporte cet ensemble peut tourner par son manchon S, autour d'une douille C mobile à l'extrémité supérieure de la colonnette creuse qui occupe l'axe de l'instrument.

Une vis N permet de soulever ou d'abaisser l'équipage mobile, dont les déviations sont accusées par la réflexion d'un rayon lumineux sur un miroir M. Le courant est amené à la bobine par les deux brins de la suspension bifilaire. L'instrument est protégé par une



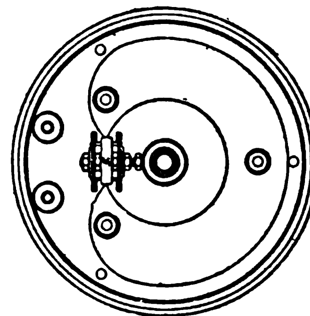


Fig 1 à 3.— Galvanomètre Crompton-d'Arsonval

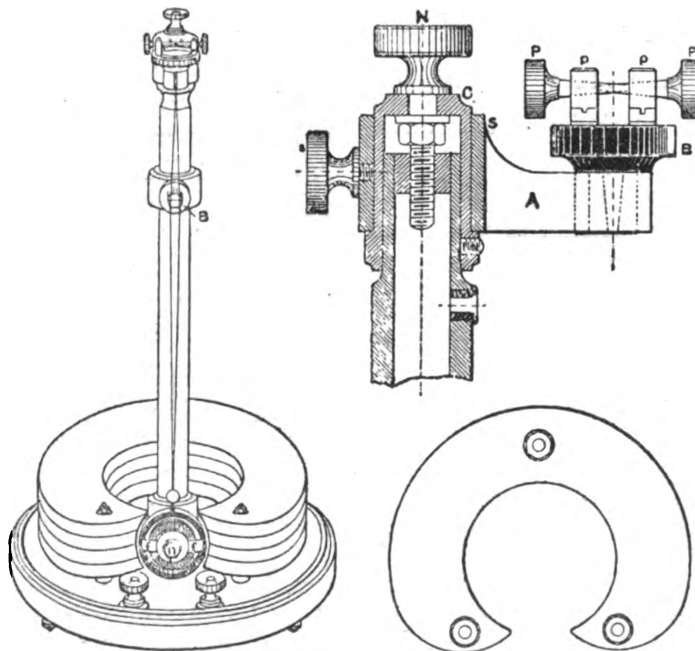


Fig. 4 à 6.— Galvanomètre Crompton-d'Arsonval

enveloppe cylindrique, dont la partie inférieure métallique présente une ouverture munie d'une fenêtre en verre très mince et derrière laquelle s'aperçoit le miroir.

On peut faire varier la sensibilité de l'instrument en faisant monter ou descendre un doigt isolant B qui écarte les deux brins de la suspension et qui porte un collier mobile le long de la colonnette.

Avec son maximum de sensibilité un millionième de volt produit une déviation d'un centimètre sur une échelle placée à 2 mètres de distance.

A. H.

Sur les produits du four électrique, par Henri Moissan.

Dans une récente communication à l'Académie des sciences, intitulée : Sur la formation des carbures d'hydrogène gazeux et liquides par l'action de l'eau sur les carbures métalliques, classification de ces carbures (1), M. Moissan résume l'ensemble de ses belles recherches sur les produits que donne le four électrique. Voici les principaux points de ce résumé :

A la haute température du four électrique, un certain nombre de métaux, tels que l'or, le bismuth et l'étain ne dissolvent pas de carbone.

Le cuivre liquide n'en prend qu'une très petite quantité, suffisante déjà pour changer ses propriétés et modifier profondément sa malléabilité.

L'argent, à sa température d'ébullition, dissout une petite quantité de charbon qu'il abandonne ensuite par refroidissement sous forme de graphite. Cette fonte d'argent augmente de volume en se solidifiant, comme la fonte de fer, tandis que l'argent et le fer purs diminuent de volume en passant de l'état liquide à l'état solide.

L'aluminium possède des propriétés identiques.

(1) *Comptes rendus*, t. CXII, p. 1462-1467 ; séance du 22 juin.

Les métaux du platine, à leur température d'ébullition, dissolvent le carbone avec facilité et l'abandonnent sous forme de graphite avant leur solidification ; ce graphite est foisonnant.

Un grand nombre de métaux produisent, à la température du four électrique, des composés définis et cristallisés.

Un mélange de lithine ou de carbonate de lithium et de charbon donne, par traitement au four électrique du carbure de lithium C^2Li^2 en cristaux transparents, dégageant, par réaction sur l'eau, 587 litres de gaz acétylène pur par kilogramme de carbure.

La chaux, la baryte, la strontiane chauffées avec le charbon donnent, par une méthode générale que l'auteur a été le premier à faire connaître, des carbures de calcium, de baryum et de strontium, de formule C^2R, purs et cristallisés, qui, en présence de l'eau, donnent de l'acétylène.

L'aluminium, fortement chauffé au four électrique en présence de charbon, se remplit de lamelles jaunes, hexagonales et transparentes de carbure C^3Al^4, que l'on peut isoler par un traitement assez délicat au moyen d'une solution d'acide chlorhydrique étendu, refroidie à la température de la glace fondante, et qui, par réaction sur l'eau, donnent de l'alumine et du gaz méthane pur.

Le glucinium fournit dans les mêmes conditions, ainsi que l'a montré récemment M. Lebeau, du carbure de glucinium, donnant également en présence de l'eau froide un dégagement de méthane pur.

Les métaux de la cérite donnent des carbures cristallisés dont la formule C^2R est analogue à celle des carbures alcalino-terreux. MM. Moissan et Étard (1) ont spécialement étudié la décomposition par l'eau des carbures de cérium C^2Ce, de lanthane C^2La, d'yttrium C^2Yt et de thorium C^2Th. Cette décomposition donne un mélange gazeux riche en acétylène et contenant du méthane.

(1) Moissan et Étard. Sur les carbures d'yttrium et de thorium. — *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 573.

Le fer, à la pression ordinaire et à haute température, n'a pas donné de carbure défini.

L'uranium donne un carbure très bien cristallisé en lamelles transparentes de composition $C^3 Ur^2$ qui, en présence de l'eau, donne un mélange gazeux contenant une grande quantité de méthane, de l'hydrogène et de l'éthylène et un mélange de divers carbures liquides et solides où se retrouvent les deux tiers du carbone contenu dans le carbure [1].

Une seconde classe de carbures métalliques, ne décomposant pas l'eau à la température ordinaire, comprend les carbures de molybdène $C Mo^2$, de tungstène $C Tg^2$, de chrome $C Cr^4$ et $C^2 Cr^3$. Ces derniers carbures sont cristallisés, non transparents, à reflets métalliques, d'une très grande dureté, peu fusibles.

Les métalloïdes fournissent aussi avec le carbone, à la température du four électrique, des composés cristallisés et définis. Par exemple, le carbure de silicium C Si, découvert par M. Acheson et préparé aujourd'hui dans l'industrie sous le nom de carborundum ; le carbure de titane C Ti dont la dureté est assez grande pour permettre de tailler le diamant tendre ; le carbure de zirconium C Zr ; le carbure de vanadium C Va [2].

Un fait général se dégage de ces nombreuses recherches sur les produits du four électrique ; c'est que ces produits sont toujours de formule très simple et que, le plus souvent, il n'existe qu'une combinaison.

L'auteur, s'appuyant sur les réactions de ces carbures sur l'eau, expose quelques considérations tendant à montrer que, au moins dans certains cas, les dégagements naturels de carbure d'hydrogène gazeux et la formation des pétroles (carbures liquides) doivent être attribués à une action de l'eau sur les carbures formés au sein de la terre sous l'influence de la chaleur centrale du globe terrestre.

J. B.

[1] H. MOISSAN. Étude du carbure d'uranium. — *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 379 ; 22 février 1896.

[2] H. MOISSAN. Etude de la fonte et du carbure de vanadium. — *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 35 ; 4 juillet 1896.

Procédé de désargentation électrolytique des plombs argentifères, par D. Tommassi [1].

Le principe sur lequel est basé ce procédé, dont l'auteur se propose de donner prochainement une description étendue dans ce journal, consiste à électrolyser une solution plombique qui, non seulement possède une résistance électrique excessivement faible, mais encore ne donne pas naissance à du peroxyde de plomb (PbO^2), et à prendre l'alliage argentifère lui-même pour anode et un disque métallique inattaquable par le bain pour cathode.

Sous l'action du courant, le plomb des anodes entre en dissolution et se transporte sous forme de cristaux spongieux sur le disque qui sert de cathode, tandis que tout l'argent contenu dans le plomb, étant insoluble dans le bain, se dépose au fond de la cuve dans un récipient perforé destiné à le recueillir.

Sur la préparation des alliages d'aluminium par voie de réaction chimique, par Charles Combes [1]

Dans le précédent numéro de ce journal (p. 26) nous signalions une méthode générale de préparation des alliages d'aluminium, indiquée par M. Moissan et fondée sur le dégagement de chaleur considérable accompagnant l'oxydation de l'aluminium.

Suivant M. Combes, qui fait en ce moment, au laboratoire de l'École de physique et de chimie industrielles, une étude des alliages d'aluminium au point de vue métallurgique, la méthode de M. Moissan présente les inconvénients suivants :

1° On ne peut se procurer facilement de grandes quantités de limaille d'aluminium et l'on a tous les désavantages de la manipulation des corps en poudre.

2° La réaction n'est pas quantitative ; une partie de la limaille d'aluminium est brulée.

3° La réaction produit de l'alumine, corps infusible qui ne se sépare pas nettement du métal et qui, en tous cas, est perdue.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1476, séance du 22 juin.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1482 ; séance du 2 juin.

Pour ces raisons l'auteur préfère réduire par l'aluminium un sulfure ou un chlorure du métal que l'on veut allier à l'aluminium. La réaction se passe à la température de fusion de l'aluminium ; avec un sulfure il se produit du sulfure d'aluminium qui monte à la surface du bain métallique et s'en sépare très nettement ; avec un chlorure, il se produit du chlorure d'aluminium qui se volatilise ; le sulfure et le chlorure d'aluminium peuvent d'ailleurs être recueillis et utilisés pour régénérer l'aluminium. La réaction est immédiate et intégrale, de sorte que l'on peut calculer à l'avance le taux de l'alliage. Dans le cas des sulfures la réaction se produit conformément au principe thermochimique du travail maximum, c'est à dire quand la chaleur de formation du sulfure à réduire est plus petite que celle du sulfure d'aluminium ; ainsi tandis que le sulfure de nickel est réduit (19,4 calories), ceux de zinc (43,0 calories) et de manganèse (45,2 calories) qui ont une chaleur de formation plus grande que le chlorure d'aluminium (41,4 calories pour $Al^{\frac{2}{3}}S$) ne le sont pas. Avec les chlorures la réaction est encore possible lorsque la différence des chaleurs de formation est peu différente, le complément d'énergie étant emprunté au foyer calorifique; par exemple bien que $Mn^{\frac{1}{2}}Cl$ corresponde à 56 calories et $Al^{\frac{1}{3}}Cl$ à 53,6 calories, on obtient un alliage aluminium-manganèse avec départ de chlorure d'aluminium par réaction de l'aluminium sur le manganèse.

L'auteur a pu préparer ainsi, dans un simple four Perrot de laboratoire, des alliages de métaux réfractaires tels que le nickel, le manganèse, le chrome, etc.

Pour obtenir l'alliage aluminium-nickel, l'auteur emploie la matte Bessemer raffinée de nickel, correspondant à la formule Ni S, que l'on obtient industriellement très pure et qui a l'avantage d'être moins chère que le nickel métallique et que son oxyde. On fond ensemble les quantités voulues d'aluminium et de matte, ou bien on projette la matte par fragments dans le bain d'aluminium. L'auteur a préparé ainsi des alliages contenant jusqu'à 20 pour 100 de nickel ; à cette teneur, l'alliage est cassant et cristallise par refroidissement.

L'alliage aluminium-manganèse s'obtient en projetant par fragments du chlorure manganeux anhydre dans l'aluminium fondu. A une teneur de 4 pour 100, l'alliage a une cassure à facettes cristallines comme celle du spiegel.

Pour préparer l'alliage aluminium-chrome, l'auteur emploie le sesquichlorure de chrome que l'on projette par fragments dans l'aluminium ; la réaction est très violente. L'alliage à 7 pour 100 est très cassant et à cassure finement cristalline. L'alliage à 13 pour 100 est tout à fait cristallisé et se pulvérise au mortier.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société internationale des Électriciens.

Séance du 1er Juillet.

M. Sciama, président, annonce au début de la séance que M. C. T. Martin, notre sympathique confrère de l'*Electrical Engineer*, de New-York, qui est actuellement en Europe comme délégué de l'*American Institute of Electrical Engineers* aux fêtes du Jubilé de Lord Kelvin, fera devant les membres de la Société, réunis en séance extraordinaire, le 8 juillet, une conférence sur l'Utilisation des chutes du Niagara. Cette conférence sera accompagnée d'un grand nombre de projections. M. Martin s'exprimant difficilement en français, sera secondé par M. Hospitalier.

M. Sciama annonce également que les membres de la Société qui désireraient prendre part au Congrès de Genève, au mois d'août prochain, pourront, en s'adressant à la Société, profiter d'une réduction dans le prix des places, réduction gracieusement consentie par M. Noblemaire, président de la Cie P. L. M. ; la valeur de cette réduction n'est pas connue.

Les membres de la Société seront invités pour une date ultérieure rapprochée à visiter l'Usine du secteur de la Rive gauche ; un deuil cruel qui a frappé M. de Tavernier a seul retardé cette visite. Les membres de la Société seront transportés à Issy par un bateau électrique spécial qui les prendra au Pont de la Concorde et les conduira directement.

M. *Gosselin* expose ensuite quelques considérations relatives à la communication faite par M. Bochet à la dernière séance sur le calcul des conducteurs (¹). Il considère le cas du minimum, non de dépenses de cuivre, mais de dépenses totales. Celles-ci se composent de la station génératrice (y compris les canaux d'amenée dans le cas des installations hydrauliques) ; le prix de la pose de la ligne et des isolateurs qui est proportionnel à la distance et le prix du cuivre de la ligne qui est proportionnel à la distance et à la section.

Il résout d'abord le problème en supposant que le prix du matériel générateur est proportionnel à la puissance totale, ce qui lui permet d'obtenir une équation dont il recherche le minimum.

En pratique, cette propriété n'est pas parfaite. On résout alors le problème graphiquement en traçant séparément les courbes représentatives des variations de prix de chaque élément, et on recherche le minimum de leur somme en ajoutant pour chaque point la valeur de leurs ordonnées.

M. *Pellissier* expose ensuite le système de tramway électromagnétique Westinghouse ; ce système a été décrit dans nos colonnes (¹). Nous retiendrons seulement de cette communication les renseignements suivants : le système a été inventé en 1891 ; c'est donc un des premiers qui aient été proposés. A Washington, l'isolement des plots de contact est tel que la perte de courant correspond, dans les plus mauvaises conditions climatériques, à 5 pour 1 000 de la puissance nécessaire à la traction d'une seule voiture, ce qui représente une résistance de 3 500 à 4 000 ohms. Dans les nouveaux modèles, l'isolement est encore plus élevé ; les vitesses qu'on a pu obtenir, tout en conservant de bons contacts atteignent 40 km:h. Le bruit des barres de contact sur les plots ne devient sensible au-dessus de celui de la voiture que lorsqu'on dépasse la vitesse de 15 km:h.

La fin de cette communication est consacrée aux applications du système au service des chemins de fer. Nous reviendrons prochainement sur ce sujet.

Enfin, M. *F. Loppé* entretient la Société de la « détermination de la force électromotrice développée dans une partie d'un anneau gramme tournant dans un champ magnétique uniforme ». Ce travail tout mathématique sera analysé ultérieurement.

Société française de Physique.

Séance du 3 juillet.

Après une communication de M. E. Amagat sur une « Vérification d'ensemble de la loi des états correspondants de Vander Waals et la détermination des constantes critiques, M. Gariel présente, au nom de M. *G. Weiss*, des « Expériences sur deux phénomènes produits par le passage du courant continu à travers les tissus organisés ».

M. G. Weiss, ayant observé que le passage d'un courant continu à travers les muscles produit une dégénérescence des tissus qui n'apparaît pas lorsqu'on emploie des courants alternatifs, attribua cette dégénérescence à une polarisation. Pour mettre cette polarisation en évidence, il prit deux cristallisoirs contenant un liquide conducteur dans lequel plongeaient les extrémités d'un muscle de grenouille. Les cristallisoirs étaient reliés aux deux pôles d'une pile et dans le circuit se

(¹) A propos de la communication de M. Bochet, M. Blondel adresse également une note, rappelant qu'un théorème connu conduit au même résultat.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 4 janvier 1896.

trouvaient intercalés un galvanomètre et un interrupteur. D'autre part, l'un des cristallisoirs était relié au sol tandis que l'autre était réuni à une des armatures d'un condensateur ayant son autre armature en communication avec le sol ; ce second circuit comprenait également un interrupteur. On commençait par faire passer un courant continu à travers le muscle en fermant le premier circuit ; puis ce circuit étant rompu, on fermait le second, de manière à charger le condensateur par le courant résultant de la force électromotrice de polarisation du muscle. En répétant cinq ou six fois cette double opération on constatait que le condensateur prenait une charge sensible que l'on mesurait en déchargeant le condensateur, au moyen d'un troisième circuit, dans un galvanomètre balistique. L'auteur a ainsi constaté qu'un muscle de grenouille donne naissance à une force électromotrice de polarisation de 0,2 volt environ ; en employant des muscles de plus grandes dimensions, il a observé que la polarisation est plus lente mais plus intense et que la force électromotrice de polarisation est à peu près proportionnelle à la longueur du muscle et en raison inverse de sa section.

Dans une autre série d'expériences, M. G. Weiss, au lieu de faire passer le courant dans un muscle, réunissait les deux cristallisoirs par un tube en U renversé contenant, dans l'une de ses moitiés, de la gélatine additionnée de chlorure de sodium, dans l'autre de la gélatine non salée ; il observa que sous l'influence du courant les deux gélatines se liquéfiaient de chaque côté de leur surface de séparation.

Ayant remplacé la gélatine salée par de la gélatine colorée par une substance organique, il constata que, sous l'influence d'un courant dont l'intensité pouvait descendre jusqu'à 25 milliampères, il y a entraînement de la matière colorante tantôt dans le sens du courant tantôt en sens inverse, suivant que cette matière est basique ou acide. Une seule substance a fait exception à cette loi ; c'est le vert acide, qui se comporte comme une matière colorante basique; mais la composition de cette matière colorante est beaucoup plus complexe que celle des autres colorants étudiés et peut être est-ce à la complexité de la molécule que l'on doit attribuer cette particularité.

En opérant dans les mêmes conditions avec de la gélatine additionnée de chlorure de sodium M. G. Weiss a constaté que l'entraînement de la matière colorante devenait beaucoup moins rapide.

A la suite de cette communication, M. Abraham rappelle les travaux de MM. d'Arsonval et Charrin sur l'action des courants à haute fréquence sur les toxines bactériennes, travaux qui ont été l'objet d'une communication récente à l'Académie des Sciences que nous reproduisons plus loin, et fait observer que ces travaux laissait indécise la question de savoir si l'atténuation des toxines est due à une action propre des courants de haute fréquence ou à une action déjà connue telle que l'électrolyse ou l'élévation de température. Or, d'après M. Abraham, il résulterait d'expériences de M. Marmier, en cours d'exécution au laboratoire de M. le docteur Roux, que l'atténuation des toxines est dû à l'échauffement résultant du passage du courant alternatif.

La séance se termine par une communication de M. P. Villard sur la « Dissolution des liquides et des solides dans les gaz ».

J. B.

Société de Physique de Londres.

Séance du 26 juin

Le docteur *F. Bedell* fait une communication sur « l'admittance et l'impédance » dans laquelle il discute l'application de la méthode des « diagrammes vecteurs » à la solution de questions relatives aux courants alternatifs. Il montre que par la considération des différentes lignes des diagrammes de ce genre, il est possible de résoudre simplement et rapidement de nombreux problèmes, dont la so-

lution analytique exigerait de longs développements.

Répondant à deux observations de M. Blakesley et de M. Inwards, l'auteur dit que lorsqu'il emploie le terme résonance, c'est que la force électromotrice et le courant ont été amenés à avoir la même phase au moyen de condensateurs placés dans le circuit secondaire et il ajoute que les différences entre les résultats de ses expériences et ses prévisions théoriques étaient généralement comprises entre 1 et 3 pour 100.

Le professeur *S. P. Thompson* lit ensuite un Mémoire sur les « Propriétés d'un corps ayant une résistance négative » dont nous donnerons l'analyse dans notre prochain numéro.

Action des courants à haute fréquence sur les toxines bactériennes, par d'Arsonval et Charrin (¹).

« Nous avons précédemment étudié l'action des diverses modalités de l'énergie électrique sur les microbes, nous avons poursuivi depuis cette étude en l'étendant aux toxines sécrétées par ces microorganismes. Cette Note a pour but de faire connaître les résultats auxquels nous sommes déjà arrivés dans cette voie nouvelle.

» Quelques essais ont été tentés dans le même sens, notamment par MM. Smirnoff et Kruger. Ces auteurs se sont bornés à employer une seule modalité électrique : *le courant continu*. Cette forme particulière de l'énergie électrique se prête très mal à une étude de la question, parce que le passage du courant continu à travers un liquide contenant des toxines bactériennes se complique forcément de phénomènes d'ordre chimique.

» Indépendamment des produits *polaires* de l'électrolyse, il y a dans l'espace interpolaire toute une série de décompositions et de combinaisons chimiques qu'engendre le transport des ions. Il est donc impossible, avec le courant continu, de faire la part qui revient exclusivement à l'électricité dans les phénomènes observés.

» Des expériences préliminaires que nous ne rapporterons pas ici, faites, d'une part, avec le courant continu et, d'autre part, avec le courant induit direct ou l'extra-courant d'une bobine, nous ont montré que les modifications imprimées aux toxines n'étaient nullement en rapport avec la *quantité* d'électricité les ayant traversées. Avec des courants induits, *toujours dirigés dans le même sens*, et s'accompagnant par conséquent d'électrolyse, le passage de 7 coulombs a produit des modifications plus profondes que celui de 78 coulombs provenant du courant continu. Cette expérience nous a donc clairement montré que l'ébranlement moléculaire produit par les décharges électriques provenant de la bobine était un agent modificateur infiniment plus actif que l'électrolyse.

» Pour éliminer toute action d'ordre électrolytique, c'est à dire d'ordre chimique, nous avons en conséquence été conduits à adopter la modalité électrique qui produit les ébranlements les plus rapides que l'on connaisse : *Les courants alternatifs à haute fréquence*. Le dispositif employé est celui que M. d'Arsonval a signalé antérieurement à l'Académie dans une Note en date du 3 juillet 1893.

» L'appareil se compose, en principe, d'un transformateur B, à haut potentiel et basse fréquence, dont le secondaire est relié aux armatures intérieures de deux condensateurs C_1, C_2, reliés eux-mêmes à un déchargeur à boules M. Les armatures extérieures de ces condensateurs sont reliées en cascade par un solénoïde S. Des extrémités du solénoïde partent deux fils de platine, qui amènent le courant à haute fréquence à un tube en U, en verre, qui contient la toxine. Ce tube est plongé lui-même dans un vase contenant de l'eau glacée, qui empêche tout échauffement du liquide pendant le passage du courant. La fréquence est, comme on le sait, fonction de la capacité conjuguée des condensateurs C_1, C_2 et de la self-induction du solénoïde S. Dans les expériences rapportées ci-dessous,

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 280.

la fréquence, calculée d'après la formule de Thomson, est de 225000 oscillations par seconde.

» L'intensité *efficace* du courant traversant la toxine, mesurée au moyen d'un galvanomètre spécial (¹), était de 0,75 ampères; et la densité *moyenne* du courant de 250 milliampères par centimètre carré. Ces chiffres ne donnent que l'intensité *efficace* du courant; quant à l'intensité *initiale*, elle est infiniment supérieure et dépasse certainement 50 ampères.

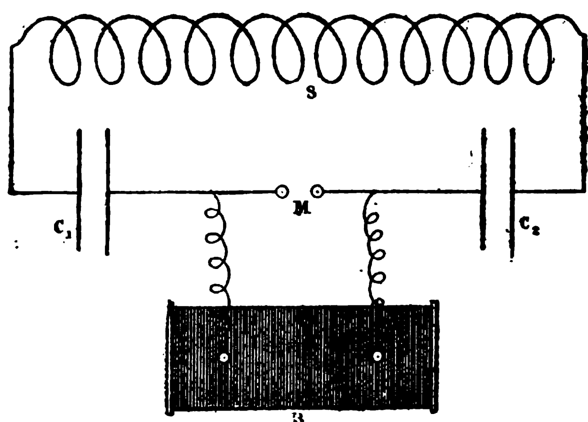


Fig. 1

» L'électricité passe donc a travers la toxine par *pulsations alternatives* extrêmement rapides et extrêmement intenses. Il est dès lors facile de comprendre de quelle puissance est ce branle-bas *totius substantiæ* imprimé à la toxine.

» Voici le résultat de quelques-unes de nos expériences :

» *Expérience I.* — Nous avons soumis au courant de haute fréquence, pendant un quart d'heure, une toxine diphtéritique très active. Nous en avons injecté 2,5 cm³ à trois cobayes, et la même dose, *avant électrisation*, à trois cobayes témoins. Le résultat a été des plus nets: les trois témoins sont morts en vingt, vingt-cinq et vingt-six heures. Des trois cobayes ayant reçu la toxine électrisée, un a survécu durant trois jours : les deux autres sont vivants à la date du 10 février, soit douze jours après.

» Trois autres cobayes ayant reçu 2,5 cm³ de la même toxine électrisée étaient survivants sept jours après l'injection et ont servi à l'expérience n° III.

» En somme, les trois témoins sont morts rapidement et, des six animaux injectés avec la toxine électrisée, un seul est mort trois jours après l'injection seulement. L'atténuation de la toxine diphtéritique par la haute fréquence est donc évidente.

» *Expérience II.* — Mêmes expériences avec la toxine pyocyanique injectée à la dose de 3 cm³. Le témoin est mort trente-six heures après l'injection. Tous les cobayes (au nombre de quatre) injectés avec la même dose de toxine pyocyanique électrisée ont survécu.

» Il est donc très nettement démontré que ces toxines sont profondément atténuées par les courants à haute fréquence. Ce fait est important, en ce sens qu'on peut espérer que cette atténuation pourra être faite *directement dans l'organisme malade*. Cette possibilité résulte de ce fait, mis en évidence par M. d'Arsonval, à savoir que le corps de l'homme peut être traversé par des courants de haute fréquence extrêmement puissants sans provoquer aucun phénomène douloureux ou moteur. Mais il y a plus. Non seulement ces toxines peuvent être atténuées par la haute fréquence, mais bien mieux, *après l'électrisation*, *elles deviennent des substances immunisantes*, *des vaccins*. comme le démontrent les expériences suivantes :

» *Expérience III.* — Le 3 février, on inocule 0,5 cm³ de culture diphtéritique très active à trois cobayes ayant reçu il y a sept jours 2,5 cm³ de toxine diphtéritique soumise à la haute fréquence (*Expérience I*). On inocule de même trois cobayes témoins. Le 5 février, deux témoins succombent : le troisième témoin meurt le 6 février. Le 7, un des cobayes vac-

(¹) D'ARSONVAL. Voir ma Note à l'Académie en date du 15 juillet 1895.

cinés meurt également. Quant aux deux autres cobayes ils sont actuellement bien portants (10 février), sept jours après l'injection.

» Il est juste de remarquer que ces animaux ont été inoculés uniquement dans le but de juger de l'atténuation des toxines électrisées et non dans celui de vacciner ces animaux. Si nous avions, suivant la règle adoptée en pareil cas, procédé par doses minimes d'abord, puis progressivement croissantes, nous aurions sans doute réalisé une immunité plus complète.

» *Expérience IV.* — Trois cobayes ayant reçu depuis dix jours 3 cm³ de toxine pyocyanique vivante. On inocule de même deux cobayes témoins. Les témoins meurent l'un trentre-six heures, l'autre quarante-huit heures après l'injection.

» Quant aux trois animaux vaccinés ils sont actuellement vivants, huit jours après l'injection.

» La toxine pyocyanique s'atténue donc par la haute fréquence comme celle du bacille de Loeffler. Cette atténuation varie évidemment suivant l'énergie du courant et la durée de l'électrisation. Avec le courant que nous avons employé, au bout d'un quart d'heure, la toxicité est diminuée de moitié environ.

» Quoi qu'il en soit, nous pouvons conclure de ces faits :

» 1° *Que la haute fréquence atténue les toxines bactériennes ;*

» 2° *Que les toxines ainsi atténuées augmentent la résistance des animaux auxquels on les injecte.* »

Expériences sur les rayons de Roentgen, par AA. C. Swinton [1].

A propos de l'article de M. Lodge qui a été publié dans un des derniers numéros de ce journal, M. Swinton adresse aux éditeurs de *The Electrician* la lettre suivante :

« Dans son intéressant article, le professeur Oliver Lodge établit qu'un disque de platine isolé placé entre la cathode et l'anode d'un tube de Crookes se charge toujours positivement quels que soient les connexions et le sens du courant.

» J'ai déjà observé ce fait dans des expériences faites avec un courant alternatif et un tube à double foyer (tube à deux électrodes concaves placées aux extrémités du tube et au centre commun desquelles est une lame de platine reliée à l'une d'elles) et j'ai, de plus, remarqué que, sauf dans le voisinage immédiat de la cathode, toute connection à l'intérieur du tube est chargée positivement et que par suite, presque toute la surface extérieure du tube est électrisée positivement. Mais mon but en écrivant ces lignes est de faire savoir qu'une étude très complète de ce phénomène se trouve dans un discours présidentiel du professeur Crookes à l'Institution of the Electrical Engineers (*Proceedings*, t. XX, p. 20 à 25, février 1891), où il est clairement montré qu'à l'exception du flux cathodique lui-même et d'une région très petite entourant la cathode, tout le reste du tube est chargé positivement. Ce fait explique pourquoi dans plusieurs formes de tubes de Crookes, par exemple dans celles qui ont été tout d'abord utilisées pour la production des rayons Roentgen, la position de l'anode n'a qu'une importance secondaire, puisqu'elle constitue seulement une connexion entre la source d'électricité positive et le gaz raréfié conducteur chargé d'électricité positive.

» On admet généralement que quand les tubes de Crookes noircissent, probablement par suite de la volatilisation et du dépôt sur le verre du platine de l'anode, ils cessent de fonctionner à cause de l'accroissement apparent de leur résistance intérieure résultant de l'accroissement de vide dû à l'occlusion du gaz par le noir de platine.

» Cette explication peut être en partie exacte mais on en trouve une autre dans les faits curieux suivants découverts par le professeur Crookes et qu'il décrit ainsi dans son discours présidentiel : « Il semble que l'étincelle « d'induction passe d'autant plus facilement

[1] *The Electrician*, t. XXXVII, p. 221, 12 juin 1896.

« que le pouvoir phosphorescent des substan-« ces entourant les pôles est plus grand: j'en-« toure les pôles de verre de Bohême ou d'yt-« tria, deux substances phosphorescentes et « mauvaises conductrices de l'électricité, et « l'étincelle d'induction passe facilement ; si « j'entoure les pôles d'une substance conduc-« trice non phosphorescente (une feuille d'ar-« gent électrolytique), le courant refuse de « passer ». Il est donc fort possible que le dépôt de platine dans un tube ancien ou surmené ait le même effet que l'argent dans l'expérience de Crookes. J'ai récemment expérimenté avec un tube de forme spéciale, fort noirci, et présentant une énorme résistance interne bien qu'une coloration bleue et autres indications parussent indiquer plutôt un vide peu élevé ; l'explication de sa haute résistance apparente me paraît donc être celle de Crookes. »

Sur la résistance électrique des alliages, par Lord Rayleigh ([1]).

On sait que d'après les intéressantes recherches des professeurs Dewar et Fleming, qui viennent d'être l'objet d'une communication à la Royal Society et dont nous avons entretenu nos lecteurs à plusieurs reprises ([2]), la résistance électrique des métaux purs tend vers zéro quand la température tend vers le zéro absolu tandis que celle des alliages et des métaux contenant des traces d'impuretés ne présentent pas cette particularité.

Cette différence de propriétés des métaux purs et des alliages s'explique difficilement, car si la résistance de chacun des constituants d'un alliage tend vers zéro, on ne voit a priori aucune raison pour qu'il n'en soit pas de même de celle de l'alliage lui-même. Il y a quelques années déjà Lord Rayleigh s'est demandé si elle ne pourrait pas s'expliquer par des phénomènes Peltier prenant naissance dans l'alliage. En considérant un conducteur formé de lames métalliques de deux espèces, superposées et traversées par un courant normal aux surfaces de séparation il a été conduit par le calcul de la force électromotrice et de l'intensité du courant à attribuer à ce conducteur une résistance apparente différente de sa résistance réelle. C'est ce calcul que l'auteur expose de la façon suivante, bien qu'il ne se dissimule pas que beaucoup de difficultés restent encore à surmonter pour résoudre complétement le problème qu'il s'était posé.

« D'après la découverte de Peltier, quand un courant électrique passe d'un métal dans un autre il se produit un dégagement ou une absorption de chaleur à la surface de séparation. La variation de température qui en résulte s'accroît jusqu'à ce que la conduction de la chaleur à travers les lames compense l'effet Peltier et cette variation donne naissance à une force électromotrice s'opposant au passage du courant. La différence de température de deux surfaces de séparation consécutives étant proportionnelle à l'intensité du courant, il en est de même de la force contre-électromotrice qui entre en jeu. Or une force contre-électromotrice ne peut être distinguée expérimentalement d'une résistance, de sorte qu'un conducteur constitué par une série de lames de deux métaux doit avoir une résistance apparente différente de la résistance réelle des métaux.

» Soient e la force électromotrice d'un couple pour une différence de température de 1 degré entre deux jonctions, t et t' les températures de ces jonctions ; la force électromotrice de chaque couple sera $e(t-t')$. Si nous supposons qu'il y a n couples semblables par unité de longueur comptée suivant une normale aux surfaces de séparation, la force contre-électromotrice totale par unité de longueur sera $ne(t-t')$. D'autre part, soit C l'intensité du courant par unité d'aire d'une section droite ; la quantité de chaleur dégagée par seconde à chaque jonction sera, par unité de surface, $273 \times e \times C$, les températures des jonctions étant supposées voisines de 0°C.

([1]) *The Electrician* t. XXXVII, p 277 ; 26 juin 1896.
([2]) *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 243, 1892 et t. XLIX, p. 591, 1893.

Cette quantité de chaleur est évaluée en ergs et doit être égalée à la chaleur que reçoivent par seconde et par suite de la conductibilité thermique les deux côtés de la jonction froide. Si k et k' sont les conductibilités thermiques des deux métaux, l et l' leurs épaisseurs respectives, la quantité de chaleur apportée par conductibilité est par seconde

$$(t-t')\left(\frac{k}{l}+\frac{k'}{l'}\right).$$

Si nous posons

$$\frac{l}{l+l'}=p, \qquad \frac{l'}{l+l'}=q,$$

et si nous remarquons que

$$l+l'=\frac{1}{a},$$

l'expression de cette quantité de chaleur pourra prendre la forme

$$n\,(t-t')\left(\frac{k}{p}+\frac{k'}{q}\right),$$

où p et q représentent les proportions en volume suivant lesquelles les deux métaux sont associés dans le conducteur. On aura donc, quand l'état stationnaire sera atteint,

$$273 \times e \times C = n\,(t-t')\left(\frac{k}{p}+\frac{k'}{q}\right).$$

» Cette expression détermine $t-t'$ quand C est donné, et la force contre-électromotrice totale par unité de longueur est rC où

$$r=\frac{273\,e^2}{\frac{k}{p}+\frac{k'}{q}}.$$

» Telle est l'expression de la résistance apparente par unité d'épaisseur. On remarquera qu'elle est indépendante du nombre n de couples. Par conséquent quand le nombre de couples est accru l'effet de chacun d'eux décroît dans la même proportion par suite d'une conduction plus active de la chaleur entre les jonctions. Il est à peine besoin de remarquer que cette résistance apparente ne se manifeste que lorsqu'un courant circule à travers le conducteur.

» Dans mon calcul primitif les métaux choisis à titre d'exemple étaient le fer et le cuivre. Dans ce cas $e = 1\,600$. Les conductibilités thermiques, mesurées en ergs, sont : pour le fer $k = 0{,}164 \times 4{,}2 \times 10^7$; pour le cuivre $k' = 1{,}11 \times 4{,}2 \times 10^7$. Si les métaux ont même volume $\left(p=q=\frac{1}{2}\right)$,

$$r=\frac{2 \times 273 \times 1\,600^2}{4{,}2 \times 10^7 \times 1{,}27} = 26{,}2.$$

» Ce nombre représente l'augmentation de la résistance spécifique vraie par les phénomènes thermoélectriques ; elle est environ 0,015 de la résistance spécifique du cuivre. Cette augmentation peut paraître bien petite, mais il convient de remarquer que pour des métaux plus éloignés l'un de l'autre dans la série thermoélectrique, e est beaucoup plus grand et que cette quantité entre par son carré. En tout cas il semble bien qu'il doive exister quelque relation entre les conséquences déduites de l'étude des systèmes laminaires et les propriétés des alliages, bien que dans ce dernier cas l'épaisseur des lames soit de l'ordre des dimensions des molécules ».

J. B.

VARIÉTÉ

Lord Kelvin

L'Université de Glasgow vient de réunir dans une fête de grand caractère les notabilités scientifiques des principales nations [1]. Il s'agissait d'exprimer à lord Kelvin, à l'occasion du cinquantième anniversaire de son entrée dans le professorat, les sentiments d'estime et d'admiration qu'éprouvent à l'égard de l'illustre savant tous ceux qui se sont intéressés à quelqu'un des nombreux problèmes dont il a abordé la solution par des voies d'une originalité toujours efficace.

On ne sait ce qu'il faut admirer le plus dans cette vie, toute de patientes recherches, la grandeur des conceptions, la clarté des exposés communiqués aux Sociétés savantes ou consacrés à l'instruction populaire, l'esprit

[1] La France était représentée par MM. Lippmann, Mascart, Moissan, Picard et Violle.

de suite dans l'étude, à travers des décades d'un point douteux, ou l'ingéniosité pratique alliée à la plus heureuse instruction scientifique.

Après l'abus de l'épithète « illustre » prodigué dans la presse à certains personnages politiques, on ne saurait, sans impudeur, donner libre expression aux sentiments qu'évoque le nom de lord Kelvin. La violence de tels contrastes est pour le savant un titre de plus à la gloire, que la seule énumération de ses travaux et de leurs résultats suffit à établir.

Bornons-nous donc à rappeler les principales conquêtes dont la science est redevable à l'activité de ce cerveau.

Dès 1851, (il avait alors 27 ans, et professait depuis cinq ans déjà à la chaire qu'il occupe encore aujourd'hui), à une époque où le chaos régnait dans l'accumulation des recherches scientifiques, lord Kelvin employait le système des unités électromagnétiques absolues pour évaluer les forces électromotrices des piles et les résistances électriques des conducteurs. Pendant dix ans il dut lutter pour obtenir enfin la nomination d'un Comité de l'Association Britannique pour les étalons électriques, dont les travaux devaient nous doter du système C.G.S. en usage. En contribuant puissamment à la création de cet outil incomparable, et surtout en matérialisant la science par l'application aux divers ordres de recherches de la mesure, inséparable de la conception nette des phénomènes, lord Kelvin a fécondé un terrain à peine défriché.

C'est avec des instruments de mesure comme moyen, et un solide raisonnement mathématique pour guide qu'il a affirmé et démontré la possibilité pratique de la télégraphie sous-marine à grande distance. Ses chiffres publiés en 1856 comme résultat de la théorie seule sur la retardation des signaux dans les câbles, se sont pleinement vérifiés. Mais non content de développer la théorie mathématique de la transmission des signaux électriques, il en applique les conclusions en élevant de 2 ou 3 mots à la minute, à 25 mots la vitesse de la transmission, et ce résultat. il l'obtint avec son galvanomètre à miroir, aujourd'hui comme alors un des instruments les plus sensibles qui aient été produits. La rapidité des transmissions fut encore accrue dans de notables proportions, quand lord Kelvin inventa son siphon-recorder, aujourd'hui universellement adopté et qui, après d'incessants perfectionnements, a permis d'atteindre jusqu'à 250 lettres transmises par minute.

Le principe de construction du siphon-recorder, a été appliqué dans une foule d'instruments de mesure, notamment dans l'excellent galvanomètre Deprez et d'Arsonval. Mais plusieurs autres classes d'instruments de mesure dérivent de prototypes créés par lord Kelvin. Son électromètre absolu date de 1855; l'électromètre à quadrants fut décrit en 1867. Ses ampèremètres-balances sont de date plus récente, et les soins apportés à l'étude de leur moindre détail de construction leur ont dès le début fait occuper une place prépondérante dans l'outillage des laboratoires.

Rappelons pour mémoire ses recherches en thermo-électricité, sa découverte du phénomène important dit effet Thomson ; celle de cet autre effet Thomson qui accompagne la propagation des courants variables dans les conducteurs ; son étude mathémathique, la première, de la décharge oscillante, etc.

Les hautes qualités morales qui permettent à lord Kelvin de réaliser sous des formes simples ses conceptions issues des théories les plus complexes, font de sa personnalité le type de l'Ingénieur, dans le sens élevé du mot. Ses compatriotes l'ont apprécié comme tel, et les honneurs dont la nation l'a gratifié ont principalement récompensé les progrès industriels dus à son génie.

Mis en contact avec les choses de la marine par sa participation matérielle aux travaux de télégraphie sous-marine, lord Kelvin, alors M. Thomson, porta son attention sur diverses lacunes préjudiciables aux navigateurs. Par ses soins, ceux-ci furent bientôt dotés de boussoles efficacement soustraites aux perturbations extérieures, de lochs perfec-

tionnés, et d'un ensemble de résultats de l'étude sur le mouvement des marées qui ont rendu et rendront longtemps encore d'inestimables services.

C'est à la suite de ses travaux dans cette sphère d'activité que M. Thomson fut créé chevalier, et c'est sous le nom de sir William Thomson que le plus grand nombre de ses travaux nous sont connus. Elevé depuis peu à la pairie, devenu lord Kelvin et comblé d'honneurs, le savant physicien anglais vient de recevoir, dans un admirable élan d'universelle sympathie, l'hommage dû à sa vie de labeur et à son caractère.

A. Hess.

BIBLIOGRAPHIE

Les moteurs, par Julien Lefèvre, docteur ès sciences, professeur à l'Ecole des Sciences de Nantes. Un volume in-16 de 384 pages avec 141 figures. — *J. B. Baillière et fils*, éditeurs, 19, rue Hautefeuille, Paris. Prix : cartonné, 4 fr.

A notre époque, les ouvrages de vulgarisation sont nombreux ; mais combien peu sont écrits avec cette souplesse de plume et l'érudition que réclame ce genre d'ouvrages. Il semble que tous ceux qui ont appris à grand peine sur les bancs de l'école les principes rudimentaires des sciences physiques ou mécaniques se croient, par le fait qu'ils ont frôlé les applications de ces principes, passés grands maîtres dans les sciences appliquées et éprouvent le désir de faire connaître à leurs contemporains la profondeur de leur ignorance. Aussi est-ce avec plaisir que l'on cueille au passage les volumes qui, surnageant au milieu du plus grand nombre, possèdent les qualités, difficiles à remplir, que l'on est en droit de demander aux ouvrages de vulgarisation.

Le petit volume de la Bibliothèque des Connaissances utiles que vient de publier M. Julien Lefèvre, avantageusement connu par bon nombre de publications, est de ces derniers.

Laissant de côté les moteurs à vapeur, qui ont été l'objet, il y a quelques années, d'un intéressant ouvrage de M. Aimé Witz publié par la même Bibliothèque, M. Lefèvre ne s'occupe que des moteurs hydrauliques, des moulins à vent et des moteurs à gaz tonnants. Il décrit un grand nombre de ces moteurs en choisissant les types les plus répandus et les plus intéressants. Sans aucun doute les électriciens liront avec profit ces monographies qui, quoique concises, sont très nettes et très claires.

Dictionnaire d'électricité, par Julien Lefèvre. Fascicules 15 à 25. — *J. B. Baillière et fils,* éditeurs. Chaque fascicule, 1 fr ; l'ouvrage complet, 30 fr.

En annonçant, l'an dernier, la publication des premiers fascicules de cet important ouvrage, nous le recommandions à nos lecteurs ; pour cette raison nous nous contenterons d'indiquer sommairement les principaux articles que contiennent les fascicules récemment parus. Ce sont les *lampes* électriques à arc et incandescence, les *machines électriques* de tous genres, le *magnétographe*, le *microphone*, les *moteurs électriques* et *les piles électriques*, qui sont décrits avec un soin scrupuleux et une très grande clarté, descriptions accompagnées d'un grand nombre de figures très bien choisies.

Dictionnaire de chimie pure et appliquée, de Ad. Wurtz, publié sous la direction de Ch. Friedel. Deuxième supplément, fascicules 25 et 26.

Ces deux fascicules contiennent un article très important sur l'*Électrochimie* dû à M. H. Gall, qui a écrit la partie théorique, et à M. Ch. de Bechi qui s'est consacré aux applications industrielles.

Conformément à la division établie par M. Berthelot, les auteurs étudient successivement les quatre modes suivant lesquels l'électricité intervient en chimie : 1° l'électrolyse ; 2° l'action de l'arc électrique ; 3° l'action de l'étincelle électrique ; 4° l'action de l'effluve électrique.

En traitant de l'électrolyse, M. Gall débute par les définitions, en énonce les lois expérimentales, et nous initie, aussi bien qu'il était

possible dans l'espace restreint qui lui était réservé, aux théories actuelles de ce phénomène. Un tableau très complet et de nombreuses courbes fournissent d'utiles renseignements sur la résistance électrique de nombreuses solutions à divers degrés de concentration et à diverses températures.

Quant aux notions théoriques sur l'action de l'étincelle, de l'effluve et de l'arc, elles sont données lors des applications à l'industrie de ces phénomènes électriques.

L'étude des applications industrielles n'occupe pas moins de 64 pages de deux colonnes de texte serré. C'est dire que cette étude est des plus complètes et que sa lecture rendra des services aux électrochimistes.

Cette étude est divisée en 6 parties :

1. Production de dépôts métalliques (galvanoplastie, raffinage électrolytique des métaux).
2. Electrométallurgie.
3. Fabrication des produits chimiques par électrolyse.
4. Réactions produites par l'effluve et l'étincelle électriques.
5. Applications du creuset électrique.
6. Analyse électrochimique.

On voit par cet aperçu qu'aucune des applications de l'électricité à la chimie n'a pu être omise. Ajoutons que l'auteur, M. de Bechi, a su se tenir au courant des progrès les plus récents de ces nombreuses applications et qu'il a dû puiser ses renseignements aux meilleures sources.

J. BLONDIN.

Ouvrages reçus

Magnetismus und Elektrizität mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis, par GUSTAV BENISCHKE. — Un volume in-8° de 272 pages. — *Julius Springer*, éditeur, Berlin. — Prix 6 marks.

Electric Lighting and Power Distribution, par W. PERREN MAYCOCK. — Troisième édition. Un volume petit in-8° de 430 pages. — *Whittaker and Company*, éditeurs, Londres.

Uber die gegenseitigen Beeinflussungen der Fernsprechleitungen nach Muller's Theorie, par ARTHUR WILKE. — **Un volume in-8° de 70 pages.** *Oskar Leiner*, **éditeur, Leipzig. Prix 1 mark.**

The alternate current transformer in theory and practice, par J. A. FLEMING. Nouvelle édition. Tome I : *The induction of electric currents*. Un volume in-8° de 611 pages. Edité par « *The Electrician* » *printing and publishing company*, Londres.

CHRONIQUE

Douai. — Traction. — On espère obtenir que le décret autorisant le tramway électrique d'Aniche à Douai et à Dorignies soit rendu vers la fin de cette année. Le dossier a été remis aux ingénieurs des Ponts et Chaussées ; il pourrait, après les formalités de l'enquête, parvenir au ministère des travaux publics dans le courant du mois de juillet, puis être remis au Conseil d'Etat.

Montpellier.— Traction.— La commission instituée pour donner son avis, après examen des résultats de l'enquête ouverte sur l'avant-projet d'établissement d'un réseau de tramways électriques à Montpellier et Castelnau-le-Lez, s'est réunie à la préfecture et a émis l'avis suivant :

« Que la concession du réseau de tramways électriques desservant la ville de Montpellier et le village de Castelnau-le-Lez soit accordée à la ville de Montpellier, avec faculté de rétrocession, en faveur de MM. Cauderay et Valette ;

« Que l'autorité supérieure veuille bien provoquer, dans le plus bref délai possible, l'intervention à l'acte autorisant cette concession et cette rétrocession ;

« La commission décide de plus, que les renseignements fournis, tant par M. l'ingénieur en chef du département que par les dires de l'enquête ou par les rétrocessionnaires, lui ont permis de se prononcer en toute connaissance de cause.

Nantes. — Traction. — Depuis longtemps la question du troisième réseau des tramways qui intéresse les 2e et 3e cantons est en suspens. Les pièces formant le dossier ont été fournies à la préfecture et au conseil des ponts et chaussées qui ont donné un avis favorable. Il manquait une pièce établissant l'approbation de l'autorité militaire, c'est ce qui retarde la solution de la question.

En effet au dernier moment on a réclamé cette pièce nécessaire qui a été fournie et la déclaration d'utilité publique va être prononcée. Les travaux pourront commencer sous peu.

Sainte-Colombe (Rhône). — *Éclairage.* — Nous avons parlé dans notre avant-dernier numéro, celui du 27 juin, de l'inauguration de l'éclairage électrique de cette petite ville ; nous croyons intéressant de compléter ce renseignement par quelques mots sur la transmission de l'énergie.

La station génératrice se trouvant sur la rive gauche du fleuve et Sainte-Colombe sur la rive droite la transmission s'opère au moyen d'un câble composé de plusieurs conducteurs d'une longueur de 300 mètres et pesant environ 2 000 kg. Ce câble pouvant supporter un poids de 40 tonnes a une tension équivalente à une traction de 10 000 kg.

Fixé sur la rive gauche du Rhône à un pylône en fer, soutenu de trois côtés par de solides amarres le câble est rattaché sur l'autre rive à un crampon muni d'un isolateur qui a été scellé à cette intention, au sommet d'une antique tour, construite au XIVe siècle, sous Philippe de Valois.

Saint-Denis (Réunion). — *Éclairage.* — Nous lisons dans l'*Electricien* que la ville de Saint-Denis chef-lieu de l'île de la Réunion vient d'être dotée d'une station centrale qui est destinée à fournir de l'énergie aux lampes de l'éclairage de la ville. Cet éclairage qui, précédemment, était constitué par des lampes à pétrole est maintenant avantageusement remplacé par l'éclairage électrique et grâce à l'initiative prise par un des habitants, M. Gilbert-Pierre l'installation générale est aujourd'hui complètement terminée. Cette modification de l'ancien éclairage ainsi que l'installation d'un réseau téléphonique urbain et d'une ligne téléphonique inter-urbaine de 24 kilomètres, reliant le chef lieu au port de la Pointe des Galets ont déjà rendu de grands services à la population tout en faisant de Saint-Denis une ville plus moderne.

L'usine génératrice comprend deux dynamos Postel-Vinay à courant continu d'une puissance de 20 kilowatts. Ces dynamos sont caractérisées par un induit à tambour et des inducteurs du type Manchester. Elles fournissent 140 ampères à 140 volts.

Chaque dynamo est actionnée par un moteur à vapeur Willans de 30 chevaux, à qui la vapeur est fournie par une chaudière Weyher et Richemond à retour de flamme.

La canalisation est aérienne. Le circuit principal forme une boucle faisant le tour de la ville ; il est établi en fil de cuivre de 5 mm de diamètre. Quatre paires de feeders ayant respectivement 25, 30, 40 et 50 mm de section amènent le courant de l'usine génératrice en divers points, convenablement choisis du circuit principal. Prochainement, deux nouvelles paires de feeders seront établies.

Les dérivations du circuit principal sont suivant, leur importance, en fils de cuivre de 2, 3 ou 4 mm de diamètre. Le voltage est de 110 volts aux bornes des lampes.

Le tableau de distribution comporte deux ampèremètres, un pour chaque dynamo, un voltmètre, des coupe-circuits et deux interrupteurs automatiques. Il est disposé pour pouvoir facilement effectuer le couplage en parallèle des dynamos.

La station dispose, en outre, d'une petite dynamo Rechniewski de 2 200 watts commandée par une roue hydraulique que le courant de la rivière près de laquelle l'usine est érigée fait tourner. Cette roue est ordinairement utilisée pour actionner une machine à glace système Pictet pouvant en produire 200 kg par jour.

En tenant compte des pertes de charge dans la canalisation, l'usine peut fournir 28 kilowatts en énergie électrique ; soit environ 933 lampes de 10 bougies alimentée par le courant de la station.

L'éclairage public comporte 200 lampes à incandescence de 10 bougies pour lesquelles la ville paye à forfait 0,265 fr par lampe et par soirée, soit 96,35 fr par an, ce qui représente une dépense annuelle de 19 345 fr.

L'éclairage particulier, comprenant actuellement 200 lampes, est payé au taux de 6 fr par mois et par lampe. Enfin, la gare du chemin de fer a assuré son éclairage par 25 lampes, et le lycée par 80, soit au total 305 lampes de 10 bougies, ce qui porte le revenu de l'exploitation à plus de 37 000 francs.

Malgré le prix très élevé du charbon qui revient à environ 60 fr la tonne, on voit que le prix de l'éclairage électrique est très abordable, il est certain que cette entreprise se développera de jour en jour.

M. Gilbert-Pierre, après avoir passé quelques mois en France pour l'achat du matériel électrique, a dirigé lui-même les travaux d'installation qui, malgré le peu de ressources qu'offre l'île, ont couronné de succès les efforts de l'innovateur.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Séance du mardi 2 juin 1896.

La séance est ouverte à 5 heures 1/4, sous la présidence de M. F. Meyer.

Membres présents : MM. Bancelin, Berne, Cance, Clémançon, Ducretet, Ebel, de Loménie, Meyer, Radiguet, Triquet.

Se sont excusés : MM. Bernheim, Grammont, Harlé, Hillairet, Juppont, Tricoche.

Sont admis comme membres adhérents du Syndicat :

M. Daniel Sack, constructeur-électricien, 55, rue Legendre, à Paris, présenté par MM. Meyer et Ebel ;

M. Georges Delmas, ingénieur des Arts et Manufactures à Montpellier, directeur de la station centrale de Florensac, présenté par MM. Meyer et Ebel ;

M. Godard, directeur des ateliers de la Société des Générateurs Belleville, à Saint-Denis, présenté par MM. Meyer et Bancelin ;

M. Ernest Brouardel, directeur de la Compagnie française du Centre et du Midi pour l'éclairage au gaz, 6, rue Lepelletier, à Paris, présenté par MM. Meyer et Berne.

M. Balas, membre adhérent du Syndicat, quitte la France et donne sa démission.

Le Ministère du Commerce a avisé la Chambre syndicale d'une adjudication susceptible d'intéresser certains de nos adhérents et qui doit avoir lieu le 16 juin à l'Administration des Télégraphes (matériel et produits chimiques pour piles).

Le consul de France à Odessa informe les industriels français que les municipalités de Théodosie, Berdiansk et Sébastopol (Russie) viennent de voter l'éclairage électrique de leurs villes.

L'Association générale du commerce des tissus a demandé la modification des tarifs proposés par le gouvernement pour le transport des catalogues par la poste. La Chambre syndicale décide d'appuyer cette demande qui aurait pour effet d'assimiler les catalogues envoyés sous bandes mobiles aux journaux et publications périodiques.

M. Laffargue signale les résultats obtenus par les cours d'électricité professés en 1895-96 à la Fédération des chauffeurs-mécaniciens. Ces cours, au nombre de six, ont été faits par MM. Augé, Virot, Garol, Hommen, Clerbout et Laffargue. 254 élèves les ont suivis et 14 d'entre eux, arrivés à la fin de leurs études, ont obtenu le diplôme.

La Chambre félicite les professeurs du zèle avec lequel ils ont bien voulu préparer à l'industrie électrique des ouvriers habiles et vote un crédit de 100 francs pour achat de livres à distribuer comme prix.

L'exposition du théâtre et de la musique, qui doit avoir lieu au Palais de l'Industrie, du 25 juillet au 30 novembre, sollicite le concours des électriciens. La Chambre estime que c'est là une question individuelle, et qu'il appartient à l'administration de l'Exposition de voir les industriels pour provoquer leur adhésion.

M. Clémancon signale que la Société des Forces motrices du Rhône, concessionnaire de l'Etat français, aurait, d'après les journaux, fait exclusivement à l'étranger ses commandes de turbines, dynamos et câbles. A la suite d'un échange d'observations, il est décidé que, avant de donner à cette affaire la suite qu'elle peut comporter, le bureau sera chargé de prendre des renseignements détaillés.

DIVERS

Une exposition de galvanomètres. — On nous annonce qu'à l'occasion de la 78e réunion de la Société des Physiciens Allemands qui aura lieu du 21 au 26 septembre de cette année il n'y aura pas comme les années précédentes une exposition générale. Néanmoins les appareils et instruments de physique et de météorologie seront exposés par groupes séparés et occuperont, avec les appareils pour les rayons de Roentgen, les deux premières séries en rapport avec les sujets qui seront traités dans cette réunion.

La section de physique se propose de rassembler un certain nombre de galvanomètres de tous modèles et à cet effet invite à la coopération toutes les personnes pour qui le sujet pourrait avoir quelque intérêt. Le programme des galvanomètres qui seront reçus à l'exposition mentionne les appareils suivants : 1° Galvanomètres historiques, jusqu'à 50 en nombre ; soit en instruments originaux ou bonne copie des galvanomètres de Schweigger, Poggendorf, Fechner, Nobili, Weber Gauss, etc., chacun de ces appareils devra être accompagné d'une note donnant les détails complets sur l'origine et la construction de l'instrument. 2° Galvanomètres de modèles plus récents,

jusqu'à 80 en nombre ; de Meismer-Meyerstein, G. Wiedemann, Werner Siemens, E. Dubois-Reymond, Lord Kelvin, Edelmann, F. Kohlrausch, Rosental, etc., chacun d'eux devra également être accompagné d'une note historique donnant des renseignements détaillés sur leur sensibilité. 3° Galvanomètres des modèles les plus récents. 4° Appareils servant dans les montages et les installations.

La Société engage les exposants à adopter les termes usités par MM. Ayrton, Mather et Sumpner pour désigner la sensibilité des appareils.

Le système métrique aux États-Unis. — Dans un rapport officiel présenté récemment à la Chambre des représentants, M. C. W. Stone, membre de la Commission des poids et mesures, expose dans ce rapport les avantages qui résulteraient, pour le pays, de l'adoption définitive de ce système. Déjà les étalons métriques ont été légalisés ; le yard et la livre ont été déduits par une relation numérique. Enfin l'industrie se débarrasse de plus en plus des unités du système britannique.

Une nation progressive de sa nature dit le rapport, ne pourrait rester en arrière plus longtemps. Déjà en 1888, les Etats-Unis invitèrent les Etats de l'Amérique centrale et de l'Amérique du Sud à une conférence dont l'objet principal avait pour but de statuer sur l'adoption d'un système uniforme de poids et mesures. Depuis lors les nations appelées à la conférence, ont, à une exception près, précédé les Etats-Unis pour la mise en vigueur du système métrique et de la réforme des anciennes mesures.

L'auteur conclut en engageant vivement les membres présents à prendre une décision définitive à ce sujet.

En conséquence le Comité, après mûre délibération, s'est rallié à l'unanimité en faveur du système métrique, et a décidé, pour une date permettant de préparer convenablement la réforme, de rendre ce système obligatoire dans tous les actes officiels.

Le Comité juge qu'il serait prudent d'accorder un délai plus long pour permettre d'établir l'usage général des nouvelles mesures et recommande que le système métrique soit seul employé dans les actes officiels, à partir du 1er juillet 1898, et qu'il devienne seul légal dans tout le pays, le 1er janvier 1901.

Cette décision du Comité soumise au vote à la Chambre des représentants a été agréée par 119 voix contre 117.

Le rapport a été remis aux membres de la Commission pour quelques modifications de détails jugées nécessaires par la Chambre des représentants.

Le Code télégraphique international de Berne. — A plusieurs reprises nous avons fait mention des plaintes que soulève l'application de ce code, dont le principe a été décidé à la Conférence télégraphique de Paris en 1890 et dont l'application forcée dans les Etats européens doit commencer le 1er janvier 1898.

Dans son dernier rapport annuel le conseil de la Chambre de commerce de Londres se fait l'écho de ces plaintes et se flatte d'avoir réussi à faire rejeter le code de Berne ou tout au moins à en faire retarder l'application forcée jusqu'après une complète revision.

Il résulte de ce rapport que sur 64 Chambres de commerce du Continent qui ont répondu aux demandes de renseignements adressées par la Chambre de commerce de Londres, 54 sont opposées à l'application forcée du code de Berne et s'associent aux protestations de cette dernière Chambre, 5 réservent leur opinion jusqu'à plus ample information, 2 préfèrent ne prendre aucune initiative, et 1 seulement approuve le vocabulaire sous sa forme actuelle.

Sur 105 Chambres de commerce anglaises également consultées, 26 seulement ont répondu. 22 de ces dernières se rallient à la Chambre de Londres, 2 déclarent étudier encore le sujet, 1 se considère incompétente et 1 ne trouve aucune objection sérieuse à opposer au code de Berne.

La fin du rapport informe la Chambre qu'en novembre dernier un Comité s'est formé sous la présidence de M. Alban G.-H. Gibbs, dans le but d'amener le Postmaster-General à déclarer quelle serait l'attitude du British Post Office au Congrès télégraphique tenu il y a quelques jours à Budapest au sujet du code international et que le Postmaster-General a assuré le président de ce comité « qu'il était à peu près certain que la prochaine conférence télégraphique n'imposerait pas l'emploi du nouveau code pour les télégrammes européens et encore moins en étendrait l'application aux télégrammes extraeuropéens. »

L'application du magnétisme à la direction des torpilles. — On expérimente en ce moment, aux États-Unis, un appareil magnétique, pour la direction des torpilles, dont l'application pourrait avoir

des conséquences considérables. En effet, les torpilles actuelles sont parfaites au point de vue de la force de destruction quand elles frappent un navire ; mais, lorsqu'elles manquent leur but, la torpille est perdue. Il faudrait donc pouvoir les diriger sûrement contre le navire. L'engin soumis aux expériences consiste en un aimant, puissant et délicatement construit, que l'on fixe sur la torpille de telle façon qu'il puisse agir sur le gouvernail de celle-ci. Dans la pensée de l'inventeur, à l'approche d'un bateau l'aimant sera attiré dans cette direction, et en opérant ce mouvement il entraînera la torpille vers le navire. L'aimant peut agir dans un rayon de 90 mètres autour du navire.

On s'est demandé si l'aimant ne serait pas retenu par l'attraction du navire qui le porte ; mais on a obvié à cet inconvénient par une disposition telle que l'aimant ne peut être affecté qu'après avoir parcouru une certaine distance à compter depuis le point où il a été lancé.

On a constaté que l'engin pouvait être aisément adapté aux torpilles que l'on emploie actuellement. Il mesure 2,10 m de long et pèse 59 kg.

A l'épreuve, l'aimant fut attiré par un navire de fer à des distances variant de 15 à 90 mètres,

Le navire contre lequel on a essayé les torpilles munies de l'aimant était comparativement petit, et on ne pouvait pas attendre de lui une attraction aussi forte que celle exercée par les grands navires de guerre lourdement cuirassés d'acier.

Phénomènes d'induction sur les lignes téléphoniques et télégraphiques en Amérique. — Bien que leur développement soit ininterrompu, les applications de l'électricité n'ont point encore jeté au-dessus de nos villes européennes les véritables toiles d'araignée de fils conducteurs qui s'entre-croisent au-dessus des villes aux Etats-Unis. Nous y viendrons, sans doute, grâce à la multiplicité des télégraphes, des téléphones et des fils transportant la lumière ou la force en tous sens. Il faudra, dès lors veiller, mieux qu'on ne le fait actuellement, à une sorte de classement des fils par catégories, sans quoi, ils réagissent les uns sur les autres et donnent lieu à des phénomènes d'induction mutuelle qui sont une source de désagréments et d'ennuis. Les Américains ont pu, en mainte circonstance, apprécier ces inconvénients.

Il y a, d'abord, le contact des fils d'un circuit à haute tension avec les fils d'un circuit téléphonique ; ce dernier est mis hors de service tout aussitôt. Mais là, l'induction n'entre pour rien dans l'accident qui est tout matériel. Où l'induction joue un rôle à la fois intéressant et fâcheux, c'est lorsqu'une ligne télégraphique entre en relation à distance avec une ligne téléphonique et réciproquement. Le secret des transmissions est, dès lors, fort compromis.

L'*Electrical World* en a cité un exemple frappant. La ligne télégraphique de Pitsburg à Harrisburg passe par Mechianesburg, où il y a une ligne téléphonique longue de 1800 mètres, parallèle à la ligne télégraphique dont elle n'est distante que de 40 mètres environ. Cette ligne téléphonique a été établie sans fil de retour fermant le circuit ; le retour se fait par la terre. Finalement, d'un tableau commun, établi à Harrisburg, part une ligne perpendiculaire à la ligne Harrisburg-Pittsburg et aboutissant à Baltimore.

Qu'est-il arrivé ? C'est que l'on entend parfaitement, sur la ligne téléphonique de Mechianesburg les télégrammes transmis de Harrisburg à Baltimore, il y a donc induction et l'on est admis à penser que cette induction peut, à 15 km de distance, influencer un recepteur téléphonique sur un circuit isolé.

De là à établir astucieusement ce circuit téléphonique isolé pour recueillir les télégrammes il n'y a qu'un pas à franchir, et l'on ne saurait nier que la chose soit inquiétante. Lorsqu'il s'agit du télégraphe Morse, son tic-tac est évidemment révélateur et des plus aisés à percevoir. Pour les autres systèmes, le secret de la correspondance serait mieux gardé, sans que l'on puisse affirmer cependant que des télégraphistes avisés n'arriveraient pas à interprêter ce qu'ils recevraient dans le récepteur téléphonique. Comme, d'ailleurs, c'est le télégraphe Morse qui est le plus généralement employé sur les lignes, en raison de son admirable simplicité, on se trouve en présence d'une observation scientifique qui présente un incontestable intérêt.

Réparation du câble sous-marin le Pouyer-Quertier. — Ce câble qui fut posé en 1879 entre Brest et Saint-Pierre se rompit dans les eaux profondes du cap Flamand, en juin 1895. Plusieurs tentatives furent faites pour le réparer. Un vapeur spécial le « Faraday » partit au mois d'août dernier et réussit à soulever une des extrémités rompues, laquelle fut épissée à un câble neuf d'une longueur assez considérable ; l'autre extrémité du câble fut

également retrouvée et jonctionnée. Malgré cela le « Faraday » n'ayant pu rétablir la communication abandonna l'entreprise et revint en Angleterre au mois d'octobre. Peu de temps après le « François-Arago » appartenant à la Société Industrielle des Téléphones fut affretté pour tenter une nouvelle mais encore moins heureuse entreprise.

Ce navire quitta le Havre au commencement de janvier dernier et malgré le mauvais état continuel de la mer, put remonter l'extrémité du câble venant de Saint-Pierre d'une profondeur d'eau de 1 024 m. L'autre extrémité du câble venant de Brest fut draguée à 3 276 m et remontée, mais pendant cette opération le câble se rompit à nouveau. De nouvelles recherches furent faites pour retrouver l'extrémité perdue, mais toutefois sans succès à cause du mauvais temps. Vers le 18 mars, un coup de mer balaya le pont du navire brisant son gouvernail et causant en outre de sérieuses avaries dans la machine. Le navire se trouvant hors d'état de poursuivre ses recherches dut abandonner les lieux après avoir mouillé et balisé le câble de St-Pierre à environ 50 km de l'extrémité perdue venant de Brest. Le « François-Arago » rentra au Havre le 30 mars.

Ne pouvant laisser les communications interrompues entre Brest et Saint-Pierre, principalement à l'époque de la pêche, l'administration des Postes et Télégraphes envoya un troisième navire pour effectuer les réparations. A cet effet, le vapeur la « Seine » partit de Brest, où l'on avait cherché l'endroit du point de rupture, et ensuite se mit à la recherche des deux extrémités qui furent aisément retrouvées d'après les indications données par le « François Arago »; les nouvelles jonctions effectuées, la communication fut rétablie le 22 mai après un mois de séjour à la mer.

L'électricité dans les mines suédoises. — Parmi les stations électriques les plus importantes pour la transmission de la force motrice dans les mines suédoises le Colliery Guardian cite celle fournissant l'énergie à la mine de fer de Groengesberg qui a fonctionné jusqu'ici sans interruption pendant près de deux années.

La station hydraulique est située à Hellsjoe distant d'environ 12 kilomètres du lieu d'utilisation. Cette station construite près du déversoir des eaux d'une chute de 45 mètres de hauteur possède quatre turbines du type Helix, accouplées directement avec quatre alternateurs à courant triphasé ; trois d'entre eux servent à la production du courant employé comme force motrice, le quatrième est exclusivement réservé pour l'éclairage. Des bornes des trois alternateurs, le courant se rend à un tableau de distribution où il traverse les instruments de mesure, puis est ensuite transformé en courant à haute tension avant d'être dirigé sur la ligne aérienne aboutissant à Groengesberg.

La tension au point d'utilisation est d'environ 5 000 volts pour chacun des trois courants combinés, ce qui est équivalent à une tension totale de 9 000 volts.

Le *Jernkontor Annalen* fait remarquer dans les détails de l'installation mécanique de la mine que la majeure partie des moteurs sont accouplés à des transmissions déjà existantes de telle sorte qu'avec le mode d'emploi des moteurs électriques, les machines de la mine et les autres machines seront disposées d'une manière mieux appropriée à la transmission de force et d'éclairage, ce qui permettra d'obtenir une réduction considérable de perte par la transmission répétée.

Un télégramme autour du monde. — On a lancé des locaux de l'Exposition d'électricité en ce moment ouverte à New-York, un télégramme d'une trentaine de mots, qui a fait le tour du globe en cinquante minutes.

La dépêche était expédiée par le président de l'Exposition à M. Edison, qui était assis en face de lui à la même table, et à qui elle est parvenue après cinquante minutes, ayant passé par Chicago, Los Angelos, San Francisco, Vancouver, Winnipeg, Montréal, Canso et Londres, où, lancée de New-York à 8 h. 34, elle est arrivée à 8 h. 38. De là, elle a passé par Lisbonne, Gibraltar, Malte, Alexandrie, Suez, Bombay, Madras, Singapore, Sanghaï, Nagasaki et Tokio.

Chaque fois que la dépêche passait par un des bureaux ci-dessus, elle était signalée à New-York.

Le coût de la dépêche, au cours des tarifs en vigueur, était de 152 livres sterling, soit 3 800 fr.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard.

Tome VIII Samedi 18 Juillet 1896 3e Année. — N° 29

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

DISTRIBUTION DU COURANT DE RETOUR DANS LES TRAMWAYS

La question du retour par les rails dans les tramways est à l'ordre du jour depuis quelque temps. Elle a donné lieu dans ce journal même à un intéressant article de M. Lauriol (¹) et M. Potier (²) lui a consacré récemment une très remarquable communication devant la Société des Électriciens. Je n'ai pas l'intention aujourd'hui d'empiéter sur ces travaux, mais seulement d'examiner la question de la distribution sous une forme générale et à un point de vue un peu différent.

On restreint en France ordinairement jusqu'ici l'étude de la distribution pour les tramways électriques au cas particulier d'une voie isolée alimentée parallèlement aux rails par une station placée en un point de cette voie ; c'est peut être ainsi que le problème se présente actuellement sur certains embryons de tramways que nous possédons, mais ce n'est qu'un cas particulier qui ne laisse pas encoae ressortir la théorie générale.

Les tramways américains, qui sont arrivés à leur période de plein développement, se présentent au contraire sous forme de réseaux complexes, comprenant des voies rayonnantes ou réticulées, alimentées par une ou plusieurs stations disposées autant que possible vers les centres de gravité de la charge dans les quartiers qu'elles desservent. C'est à cette même disposition que nous arriverons en France lorsque la traction électrique y existera en grand, et déjà certaines installations nouvelles présentent de vrais réseaux de lignes aériennes alimentées par des feeders rayonnants d'une ou plusieurs stations. C'est ce cas général que je vais considérer ici.

Pour bien comprendre le principe des distributions de tramways, le mieux est de supposer d'abord que l'on a affaire à un système à double trôlet ou à conduite souterraine, dans lequel les deux conducteurs d'aller et de retour sont exactement symétriques et tous deux isolés de la terre ; puis on fera ressortir les modifications apportées à ce système par l'emploi du retour par les rails.

Distribution par deux conducteurs isolés. — La distribution en parallèle se fait aujourd'hui en Europe (¹) d'après les mêmes procédés que pour une distribution d'éclairage, c'est à dire à l'aide de câbles distributeurs

(¹) LAURIOL. — Sur les moyens de diminuer les fuites de courant dans le sol, dues aux tramways électriques avec retour par les rails. — *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 241 ; 9 mai 1896.

(²) POTIER. — Quelques observations sur les précautions à prendre pour éviter les troubles dûs au courant de retour des tramways — *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 470.

(¹) Dans un très grand nombre d'installations américaines à double et à simple trôlet, on à conservé l'ancienne méthode du fil trôlet tronconné et à sections isolées, alimentées par feeders indépendants ; il y a plus d'inconvénients que d'avantages à ces systèmes.

longeant les rues desservies et alimentés de distance en distance par des feeders venant de la station centrale. Ces distributeurs, reliés de loin en loin aux sections des fils de travail, sont nécessaires dans le cas de lignes à trôlet à fort trafic parce qu'on ne peut pas dépasser pour les fils aériens un diamètre de 8 à 9 mm ; ils peuvent devenir inutiles sur les lignes à faible trajet et sur les lignes à conduites souterraines dans lesquelles on emploie des conducteurs de travail de forte section. Chacun de ces conducteurs joue alors lui-même le rôle de distributeur et il suffit de l'alimenter de distance en distance par les feeders de la station. Ceux-ci sont disposés par paires, les feeders positifs et négatifs aboutissant deux à deux aux mêmes points du réseau.

Une semblable distribution ne diffère d'une distribution de lumière à deux fils que par un seul point : c'est la tolérance beaucoup plus grande admise sur le voltage. Tandis que dans un réseau de lumière on ne tôlère pas une variation de plus de 2 à 3 pour 100, on admet sans inconvénient sur un réseau de tramways des différences de 10 ou 15 pour 100 et même davantage entre les divers points du réseau (sans compter la perte dans les feeders entre la ligne et la station). Dans le système à double trôlet dont les circuits d'aller et de retour sont tous deux isolés de la terre, on n'a pas à se préoccuper de savoir comment cette perte se répartit entre les deux circuits, on admettra donc en général, par symétrie, qu'elle doit se partager en deux moitiés égales, soit 5 à 7 pour 100 sur chacun des circuits. A la tension normale de 500 volts on admet ainsi une variation de 25 à 35 volts et même davantage ; c'est cette tolérance qui détermine l'écartement des feeders, dont on règle la section en raison inverse de leur longueur. En outre cette tolérance très grande permet de ne pas égaliser rigoureusement les potentiels de distribution aux divers points d'aboutissement des feeders, comme on est obligé de le faire dans les stations de lumière, et d'éviter ainsi en général l'emploi des moyens bien connus d'égalisation de ces potentiels adoptés dans la distribution, c'est à dire rhéostats de feeders ou survolteurs ; c'est seulement pour les réseaux étendus qu'on peut avoir avantage à recourir aux survolteurs pour l'alimentation des parties les plus éloignées, comme on le fait en Amérique sur différentes lignes, notamment à Chester (Baltimore).

Distribution avec retour par les rails. — En quoi diffère une distribution avec retour par les rails de la distribution précédente ? Essentiellement en ce que les deux circuits ne sont plus symétriques et que l'un d'eux n'est plus isolé de la terre. C'est par raison de simplicité et d'économie qu'on remplace l'un des conducteurs de contact, en cuivre, par les rails de la voie.

La première condition à remplir est évidemment de transformer la voie en un conducteur *continu*. Ce n'est que par un déplorable malentendu, peut être un peu exploité par les constructeurs de tramways lorsqu'ils croyaient y trouver avantage (ils sont aujourd'hui assurés du contraire), que l'on a pu attribuer à la terre les propriétés d'un conducteur industriel. Depuis plusieurs années déjà on a renoncé à cette conception fantaisiste, amplement démolie par les faits, et tout le monde aujourd'hui reconnaît qu'on doit compter seulement sur les rails ; la seule difficulté qu'on rencontre provient des joints, les éclisses mécaniques toujours mal planées et couvertes de rouille isolante ne donnant en ces points qu'une conductance très faible, qu'on doit même considérer comme nulle en pratique.

Pour réaliser la continuité électrique [1], on emploie des éclissages ou joints électriques dont les divers types sont aujourd'hui bien connus et ont fait dans ce journal l'objet de plusieurs descriptions et articles intéressants

[1] La nécessité d'une parfaite continuité électrique de la voie a été discutée pour la première fois d'une manière complète par *J. H. Vail*, dans un mémoire lu à la Convention de Washington, en février 1894, et analysé dans la *Lumière Électrique*, 1894.

sous la plume de M. Pellissier. Ces joints doivent remplir plusieurs conditions :

1° Être en double ou triple exemplaire pour suppléer aux ruptures accidentelles (sans préjudice des connexions entre rails opposés) ;

2° Présenter une section suffisante et une surface de contact suffisante au point d'attache pour ne pas s'échauffer dangereusement. On peut prescrire, par exemple, une densité du courant maxima de 1,5 à 2 ampères par mm^2 et une surface de contact six à huit fois plus forte.

3° Présenter une faible résistance totale (y compris la résistance au contact) pour ne pas augmenter trop la résistance totale de la ligne. On a le tort bien souvent de négliger dans l'évaluation de la résistance d'un joint électrique les résistances de contact du fil de cuivre et du rail, alors que c'est là l'un des facteurs les plus importants à considérer. Il ne faut pas croire non plus qu'il y ait lieu d'augmenter indéfiniment la section des barres de cuivre des jonctions, car à partir d'une certaine dimension elles n'entrent plus que pour une faible fraction dans la résistance totale de la voie. Le meilleur mode de spécification pour les joints à donner dans un cahier de charges est donc de fixer la résistance relative de l'ensemble de ces joints, par rapport à la résistance totale calculée pour les rails supposés continus. Par exemple, on peut spécifier que cette résistance mesurée expérimentalement ne devra pas dépasser $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{5}$ de celle des rails calculée ; c'est là une perfection difficile à dépasser et même à atteindre d'une manière durable.

4° Les joints électriques ne devraient pas s'altérer aux contacts avec le temps. Jusqu'ici on est peu renseigné sur ce point et il est à craindre que tous les types connus, sauf peut être celui de H. P. Brown deviennent très résistants au bout de quelques années.

Il n'y a au fond, à ce point de vue, qu'une bonne solution, c'est celle des *rails soudés et continus* ; il est honteux qu'aucun essai n'en ait été encore tenté ou imposé en France alors qu'on connaît les résultats obtenus en Amérique. Ce système exige seulement, en prévision des ruptures de rails, des jonctions de sûreté entre les deux rails de distance en distance.

Sans insister davantage sur ce sujet bien connu, je suppose donc dans ce qui suit que l'on a réalisé une voie bien continue n'ayant que 15 à 25 pour 100 de résistance en plus de la résistance calculée. Dans ces conditions, la distribution avec retour par les rails ne diffère pas *en principe* de la distribution par fils isolés étudiée d'abord, car les courants dérivés par la terre, bien que très sensibles par les dégâts qu'ils occasionnent, sont absolument négligeables à côté du courant total, et que peu importe, au point de vue distribution, le potentiel absolu des conducteurs. Il y a seulement à calculer séparément les deux moitiés du réseau parce qu'elles ne sont pas formées de conducteurs symétriques.

Mais *pratiquement*, il se présente pour le circuit de retour deux circonstances particulières qui la différencient de la ligne d'aller.

1° La section maxima du conducteur de contact pour l'aller ne peut dépasser un certain maximum fixé par le poids de ce conducteur à supporter par isolateurs et le reste du cuivre doit être employé dans des distributeurs ou des feeders ; pour le conducteur de retour au contraire, les considérations mécaniques (solidité de la voie) déterminent un minimum, toujours élevé, de la section à adopter pour les rails ; la conductibilité d'une voie ordinaire *bien jointée* se trouve ainsi toujours de beaucoup supérieure à celle d'un fil de trôlet et suffisante dans bien des cas, comme on le verra plus loin, pour dispenser d'ajouter des distributeurs parallèles. En tout cas, le fer étant un conducteur beaucoup plus économique que le cuivre, il y a intérêt pour les voies nouvelles à établir en vue de la traction électrique à forcer la section des rails plutôt que d'employer un distributeur parallèle [1].

[1] Ceux-ci n'ont de raison d'être que lorsqu'ils remplacent des feeders, ou lorsqu'on doit utiliser avec un fort trafic une voie existante ayant des rails de faible

On pourra même pour les petites lignes simples supprimer pour ce circuit tout conducteur d'alimentation. Au contraire pour les grandes lignes il faudrait peut-être des distributeurs et en tout cas des feeders rayonnant de la station et aboutissant à des centres de distribution convenables.

Ces centres seront en général les mêmes pour les circuits d'aller et de retour ; les feeders seront donc encore par paire pour l'aller et le retour; on pourra cependant dans les petites lignes réduire le nombre des feeders de retour comme on le verra ci-dessous.

Enfin le sectionnement du conducteur de contact, c'est à dire la division en tronçons qu'on adopte souvent pour la ligne aérienne, est ici également inutile puisqu'il s'agit d'un conducteur au potentiel zéro, et ne recevant de courant que par l'intermédiaire des voitures.

Toutes ces simplifications dues à l'emploi des rails comme conducteurs ne sont que des modifications de détail qui ne changent pas le caractère général de la distribution ; c'est une question de proportion sur laquelle on reviendra plus loin.

2° D'autre part les rails ne se trouvent uniformément au potentiel de la terre que s'il ne passe aucun courant ; la présence des courants de retour produit, en vertu de la loi d'Ohm, des différences de voltage entre les extrémités d'une section de voie tout comme dans une section de ligne.

Mais on ne peut tolérer dans le cas présent pour ces différences que des valeurs très faibles ; tandis que 25 à 35 volts de perte maxima entre les points d'un conducteur de service n'ont rien d'exagéré comme on l'a vu plus haut, et qu'on peut admettre en doublant ce chiffre 50 à 70 volts entre deux points d'une ligne aérienne à simple trôlet, on ne peut admettre plus de quelques volts pour la différence de potentiel entre les deux extrémités de la voie métallique ou de ses sections ; des différences de potentiel très faibles entre deux points du sol suffisent, en effet, à produire celui-ci dans des courants vagabonds susceptibles de détériorer les conduites d'eau ou de gaz logées sous les chaussées. On n'est pas encore bien fixé sur le chiffre à adopter ; en Angleterre le réglement du Board of Trade indique 7 volts ; en France il semble devoir être réduit à 5 vols par le Comité d'électricité. Dans certains cas les ingénieurs américains ont constaté des attaques sous des différences de potentiel encore bien plus faibles.

Je supposerai du reste ici qu'aucune communication métallique n'existe entre la voie et la conduite d'eau ou du gaz et que le seul moyen préservatif adopté est cette réduction des différences de potentiel.

On est donc amené d'une part à augmenter le plus possible la conductance du circuit de retour, ce qui conduit à choisir de forts rails, à prendre les précautions rappelées plus haut pour les joints et à ne pas trop espacer les points de distribution auxquels aboutissent des feeders de retour ; d'autre part on peut être forcé de recourir en outre aux moyens d'égalisation du voltage aux points de distribution, connus et employés pour les distibutions de lumière.

On va examiner ces deux points séparément.

Proportions entre la ligne aérienne et le retour. — Au lieu d'étudier séparément le retour, il me semble avantageux en pratique d'étudier ses dimensions d'après la quantité de cuivre jugée nécessaire dans la ligne aérienne. Supposons celle-ci alimentée par des feeders, avec ou sans distributeur suivant l'importance du trafic et des rampes.

Les points d'aboutissement des feeders de cette ligne, supposés maintenus au même potentiel, auront leur espacement déterminé par la condition que la chute de potentiel maxima dans un tronçon ne dépasse pas un certain maximum fixé *a priori* ; on prendra en général pour le calcul d'établissement 50 volts

section ; encore faut-il ne pas les confondre avec les fils supplémentaires, employés autrefois et qui n'avaient qu'un but, celui de suppléer aux joints électriques en cas de rupture de l'un d'eux : c'étaient des fils de sûreté.

soit 10 pour 100, lorsque les voitures sont uniformément réparties, de façon qu'en cas de répartition inégale, la baisse n'atteigne pas un chiffre trop élevé. La variation de potentiel sur la voie de retour ne doit pas dépasser, dans les mêmes conditions, 5 volts par exemple, (ce qui est encore un chiffre élevé si l'on songe qu'il sera dépassé en cas d'inégale répartition des voitures). On aura ainsi une chute totale de 55 volts pour le voltage résultant aux bornes des moteurs.

Dans ces hypothèses, l'espacement l' des feeders de retour par rapport à celui l des feeders d'aller sera donc déterminé par la condition pratique d'avoir une chute de potentiel 10 fois plus faible sur les rails que sur les fils de ligne. Appelons s la section de ceux-ci pour une voie (distributeur compris), s' celle des deux rails d'une voie cumulés ; soient n le nombre de voitures par unité de longueur, i le courant de chacune (dans l'hypothèse de charges égales), ρ la résistivité du cuivre, ρ' celle du fer ; les chutes de voltage maxima sont sur une section de ligne aérienne

$$\rho n i \frac{l^2}{4s},$$

et sur une section de voie

$$\rho' n i \frac{l'^2}{4s'}.$$

On doit donc satisfaire à l'inégalité

$$\frac{\rho' l'^2}{s'} < \frac{1}{10} \frac{\rho l^2}{s},$$

ou, en remarquant que $\frac{\rho'}{\rho} = 8$ environ, (¹)

$$\frac{l'^2}{s'} < \frac{1}{80} \frac{l^2}{s}.$$

Ceci s'applique à des rails continus ; si les jonctions augmentent la résistance totale dans le rapport k, on devra écrire

$$\frac{l'^2}{s'} < \frac{1}{80k} \frac{l^2}{s}.$$

Telle est la relation qui définit la proportion à établir entre les sections des deux lignes. On peut remplacer pour plus de commodité la section s' par le poids du rail en remarquant qu'une barre d'un mètre de fer ayant 1 mm², pèse 7,8 gr. D'où, en appelant p le poids linéaire d'un rail en kilogs

$$s' = \frac{2p}{0,0078},$$

et par suite en substituant

$$\frac{l'^2}{p} < 3,21 \frac{l^2}{ks}$$

ou

$$\left(\frac{l'}{l}\right)^2 < \frac{p}{ks} \times 3,21.$$

Supposons qu'on ait affaire à une ligne parfaite ($k = 1$) et à un rail de 40 kg ; tant que la circulation n'exigera pas plus de 128 mm² de conducteur aérien par voie, les feeders de retour pourront être plus espacés ou moins gros que les feeders d'aller. Si la voie est mauvaise au point de vue des joints, il faudra rapprocher les feeders ou les grossir. Si pour prévoir l'éventualité d'une altération progressive des joints, on fait $k = 1,5$, la section s pour laquelle il faudra employer des feeders égaux et symétriques pour l'aller et le retour sera :

Avec rails de 40 kg, $s = 85$ mm² par voie.

Avec rails de 50 kg, $s = 106$ mm² par voie.

Si on se rappelle que sur les lignes de grandes villes s dépasse aisément 100 mm², on voit qu'il ne faut pas songer à se passer de feeders de retour là où on emploie des feeders d'aller (ne pas confondre feeder et distributeur). C'est seulement sur les lignes à faible trafic qu'on peut obtenir cette réduction.

Sur les lignes de grandes villes, si l'on pose en principe, pour la commodité de l'exploitation que les feeders seront par paires, il faut

(¹) C'est une erreur universellement répandue chez les constructeurs de tramways d'attribuer à l'acier des rails la conductibilité du fer pur, on ne sait vraiment pourquoi. L'acier des rails a pour résistance spécifique 13 à 15 microhms centimètres, soit 8 à 9 fois plus que le cuivre. Nous adoptons ici comme chiffre unique 14. Il résulte de cette remarque qu'on doit vérifier avec soin la résistance spécifique des rails, avant de les poser et de spécifier formellement dans les marchés qu'elle ne doit pas dépasser 15 microhms centimètres. D'après des mesures de M. H. Le Chatelier, une faible proportion de manganèse suffit à la doubler, ce qui montre la nécessité d'une vérification.

faire une fois pour toute $l = l'$ dans la formule précédente et on en déduit :

$$p > ks \times 0{,}312,$$

ce qui permet de calculer le poids p du rail à adopter.

Nous avons supposé dans ce qui précède une voie excellente ; en réalité, on peut avoir des mécomptes de ce côté. L'expérience américaine montre que k dépasse aisément 1,5 et qu'au lieu de réaliser facilement, comme on le croirait d'après ce qui précède, des voies 10 fois plus conductrices que la ligne aérienne, on n'arrive guère dans des circonstances favorables qu'à 5 fois et bien souvent à 2 ou 3 seulement, ce qui force à ajouter des distributeurs en cuivre fort peu rationnels ou à rapprocher les feeders. On choisira la meilleure des deux solutions au point de vue de la dépense.

Ces considérations justifient presque toujours la pratique américaine actuelle, qui est de mettre dans toutes les grandes villes des feeders de retour égaux aux feeders d'aller. Grâce à leur faible tension par rapport au sol, les feeders de retour peuvent être munis d'un isolant très léger ; par exemple, on les place dans des tuyaux de bois remplis ensuite de bitume ; on pourra aussi créer des types nouveaux de câbles concentriques dans lesquels le conducteur de retour servira d'armature, et sera isolé comme dans le cas précédent ou recouvert de l'enveloppe normale des câbles armés.

Pour les petites lignes, il vaudra mieux conserver trop de feeders de retour que pas assez ; en tout cas, si on fait une réduction il sera plus simple de la faire porter sur la section de ces feeders que sur leur nombre.

Comme exemple de distribution bien établie à ce point de vue nous citerons [1] les lignes de tramways électriques de l'Exposition de Berlin exploitées par la « Grosse Berliner Pferdeeisenbahngesellschaft » et alimentées par la station centrale de la Maürestrasse. Comme le montre le plan schématique de la figure 1, les deux lignes considérées sont alimentées par 4 feeders d'aller et 4 feeders de retour placés côte à côte et aboutissant à 4 centres d'alimentation espacés de moins de 2,5 kilomètres.

[1] D'après M. Kallmann, *Electrotechnischer Verein*.

Entre ces centres, la ligne aérienne est alimentée par des distributeurs ; pour la ligne de retour les rails eux-mêmes servent de distributeurs.

Les feeders d'aller et de retour sont égaux respectivement, la perte consentie sur chacun est de 10 volts, ce qui fait en tout 20 volts. Les centres de distribution sont maintenus tous au même voltage égal à celui de la terre;

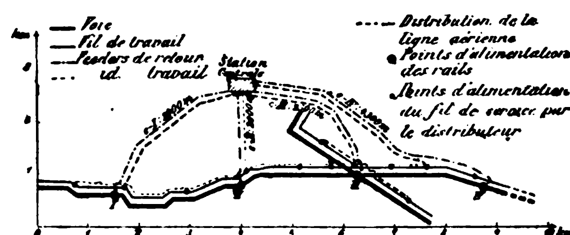


Fig. 2

dans ces conditions la chute de potentiel normale entre les centres et les milieux des sections ne dépasse pas un volt, ce qui est un résultat très satisfaisant.

Égalisation du potentiel. — Comme fondement obligé de ce qui précède, il est nécessaire de chercher à égaliser le potentiel aux extrémités des feeders comme dans les distributions de lumière, avec cette différence cependant que dans une distribution de lumière on s'occupe peu de savoir quel est le potentiel absolu de chacun des deux distributeurs, tandis qu'ici, on doit chercher à égaliser le potentiel exclusivement sur le fil de retour, au détriment du fil d'aller.

Les moyens généraux connus dans celles-ci et qu'on peut transposer dans les distributions de tramways sont aujourd'hui, comme on le sait, au nombre de trois : emploi de feeders avec densité de courant différentes, emploi de rhéostats de feeders, emploi de survolteurs. Le premier ne s'applique qu'au cas où l'on ne se propose pas de faire du réglage en

cours de service, les seconds permettent l'ajustage des tensions à chaque instant soit à la main, soit automatiquement. Lorsqu'on connaît la répartition moyenne des charges (ici elle dépend du profil en long et de l'horaire, mais on peut néanmoins la calculer approximativement à l'avance), qui varie avec l'activité de la circulation à peu près proportionnellement dans les diverses parties du réseau, on peut choisir les sections des feeders en raison inverse de leurs longueurs de façon que les pertes de voltages dans les divers feeders soient les mêmes.

Ce mode d'opérer, qui est le plus répandu et dont la distribution de Berlin qu'on vient de citer donne un exemple, n'est pas bien dispendieux lorsque les divers feeders ont longueurs peu différentes, ce qui se présentera pour les réseaux polygonaux avec usine centrale.

Lorsque les inégalités de longueur entre feeders deviennent trop considérables on est forcé de recourir aux rhéostats de feeders pour augmenter la résistance des conducteurs les plus courts, mais c'est au détriment du rendement puisqu'on admet ainsi une perte d'énergie inutile ; ou bien on doit, comme l'a proposé récemment P. Brown, recourir à des *sous-volteurs* c'est à dire des dynamos reliées par leur pôle + à la barre — du tableau de distribution (si c'est cette barre qu'on met aux rails suivant l'usage actuel) et par leur pôle — à un point de la voie de retour pour en abaisser le potentiel jusqu'à celui du sol. Ces deux procédés ont été étudiés avec détails et d'une façon remarquable par M. Potier et celui-ci a montré qu'au delà de 5 km, ils deviennent extrêmement onéreux ou insuffisants (¹). Heureusement, au delà de 5 km, les lignes deviennent presque toujours suburbaines et une chute de voltage supplémentaire peut être admises sans inconvénient jusqu'à 8 ou 10 km.

Sinon il faut, encore comme dans les distributions d'électricité, recourir à d'autres méthodes, c'est à dire à la distribution à trois fils et à la distribution indirecte.

Distribution à trois fils et distribution indirecte par courants alternatifs. — L'une et l'autre ont été essayées déjà à plusieurs reprises : la première, utilisée en grand à Portland dès 1890 et depuis dans certaines lignes, notamment à St-Louis, a été préconisée par la General Electric Co qui a même en 1894 créé un matériel spécial de distribution à 3 fils et revendique en sa faveur la réduction du cuivre en même temps que la diminution des courants circulant dans les rails qui servent de fil neutre. Grâce à celle-ci, il devient facile de réduire d'une manière souvent importante les différences de potentiel le long de la voie de retour. Si malgré ces propriétés si séduisantes (¹), la distribution à trois fils ne s'est pas répandue beaucoup jusqu'ici, c'est, je crois, parce qu'elle présente des difficultés de construction de la ligne aérienne analogues à celles des lignes à double trôlet ; cette considération est de nature à en limiter beaucoup l'emploi, malgré ses avantages théoriques.

Il n'en est pas de même de la distribution indirecte par ligne à haute tension (de préférence à courants alternatifs) avec sous stations de transformation en courants continus. Ce procédé tout à fait semblable à celui qu'on emploie pour les distributions de lumière de grande étendue permet de maintenir le potentiel suffisamment égalisé tout le long des voies métalliques s'étendant à plus de 5 km de la station.

Les premières applications qui en ont été faites depuis deux ans par la General Electric Co à Taftville et à Dublin (par un système

(¹) Si l'installation d'un kilowatt de sous-volteur ne coûte pas plus cher que celle d'un kilowatt de puissance génératrice, ce qui est le cas ordinaire, l'énoncé même de la loi de Thomson montre qu'il y a évidemment supériorité économique de la solution par sous-volteur sur une augmentation de cuivre.

(¹) On ne peut pas y ajouter la récupération par les moteurs ; car celle-ci, évidemment possible en théorie, est irréalisable avec les types ordinaires actuels.

moins bien choisi) à l'aide de courants triphasés suffisent à démontrer déjà le côté avantageux et pratique du système ; le panchahuteur Leblanc et Hutin peut en permettre, je crois, un emploi plus rationnel encore.

Il en sera peut être de même de la distribution indirecte à courants alternatifs, sans transformation en courants continus, telle qu'on l'emploie par exemple à Lugano (¹) ; celle-ci a l'avantage de ne donner lieu qu'à une électrolyse beaucoup plus faible que le courant continu à cause des inversions continuelles du courant (²).

Mais ce système présente pour le moment deux difficultés assez sérieuses : d'une part la complication assez grande qu'il faut donner aux connexions des moteurs polyphasés pour pouvoir réaliser économiquement des vitesses très différentes et des couples de démarrage aussi puissants qu'à courant continu ; de l'autre, l'emploi de voltages très faibles relativement aux voltages actuels. Il ne faut pas perdre de vue en effet que les règlements existants en France sont défavorables en ce qui concerne le courant alternatif. Si l'on devait conserver pour les tramways la même proportion entre les voltages limites du courant continu et du courant alternatif, on permettra au maximum 150 volts entre fils d'un système triphasé, ce qui, correspond seulement à $\frac{150}{\sqrt{3}} = 86{,}60$ volts étoilés au lieu de 500 ou 600 volts à courant continu. Une distribution à courant continu à 600 volts dont le fil de trôlet a une section s devrait donc être remplacée par deux fils aériens ayant chacun une section

$$\frac{s}{3} \times \frac{600}{86{,}60} = 2{,}3\,s\,;$$

ce qui fait en tout

$$\frac{2\,s}{3} \times \frac{600}{86{,}60} = 4{,}6\,s.$$

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VII, p. 481 ; 13 juin 1896

(²) Il serait peut être exagéré de dire qu'elle ne donne lieu à *aucune* électrolyse, étant donné les résultats des recherches de Mangarini et de Malagoli, etc., sur la question. Cela dépend du voltage entre électrodes.

Le cuivre gagné par l'emploi de la distribution indirecte serait donc dépensé dans la ligne ; pour tourner la difficulté, il faudrait multiplier les transformateurs, beaucoup plus qu'on ne l'a fait à Lugano, par exemple.

En France, le tramway de Lugano avec ses 400 volts de tension n'aurait pu être autorisé suivant nos errements actuels et l'on ne peut, par conséquent, le prendre comme modèle en toutes choses. Une autre difficulté consiste dans la nécessité de roulettes de trôlets beaucoup plus grosses qu'actuellement, puisque le courant dans chacun serait augmenté dans la même proportion

$$\frac{1}{3}\,\frac{600}{86{,}60} = 2{,}30.$$

D'ailleurs l'emploi du double trôlet est, comme on l'a dit, une grande source de complications pratiques pour l'isolement et les aiguillages. Je ne parle pas de courants monophasés, parce que jusqu'ici il n'existe pas encore de moteur monophasé pouvant répondre aux exigences d'un service de tramway.

En tout cas, quel que soit le système de distribution indirecte employé, l'espacement maximum des transformateurs sera limité par la chute de potentiel sur les rails, et la règle de proportion donnée plus haut subsistera ; comme on ne peut pas transformer le courant de retour indépendamment du ou des courants d'aller, il faudra bien encore se résigner à avoir autant de feeders de retour que de feeders pour la ligne aérienne. Mais rien n'empêchera d'en avoir un plus grand nombre en bifurquant le conducteur secondaire relié à la voie.

Vérification des potentiels le long des rails. — Quel que soit le système de distribution employé pour le circuit de retour, il est essentiel de pouvoir vérifier en service si les conditions indiquées sont remplies.

En ce qui concerne la conductance des joints, on peut la vérifier pratiquement par diverses méthodes ; la plus pratique, employée en Amérique, consiste à faire circuler

sur la voie, aux heures où le service est interrompu, deux voitures attelées par cordes et entre lesquelles on établit un fil de cuivre isolé, relié à une pile et à un ampèremètre dont on ferme le circuit par la portion de voie comprise entre les voitures; au passage de chaque joint, le courant diminue d'une quantité qui permet d'évaluer la résistance supplémentaire introduite par ce joint.

En ce qui concerne la répartition des potentiels le long de la voie, on doit la mesurer encore comme on le fait dans les distributions de lumière, c'est à dire à l'aide de *fils pilotes* isolés partant du tableau de la station et aboutissant aux divers points de la voie où peuvent se produire les plus grands écarts de voltage et aux points d'aboutissement des feeders (pour ceux-ci on peut recourir aussi à des voltmètres compensés). Au tableau de la station sera placé un voltmètre permettant de comparer les différences de potentiel entre les fils pilotes deux à deux, et aussi les différences entre chacun de ceux-ci et une terre prise à l'usine; c'est le seul moyen qui permette de vérifier qu'aucune de ces différences ne dépassent le chiffre admis, 5 volts par exemple. Il nous paraît donc nécessaire, si l'on impose ce chiffre par un règlement ou un cahier des charges, d'imposer en même temps l'emploi des fils pilotes ainsi disposés.

On remarquera que la mise des rails à la terre ne doit pas se faire à l'usine mais sur la voie aux points de potentiel moyen.

Conclusion. — En résumé, il me semble que la question du retour par les rails doit être résolue, sans artifices nouveaux, par une simple application des procédés connus pour les distributions de lumière, à la seule condition de réaliser d'abord une bonne continuité électrique et de préférence par le soudage des rails, seul moyen vraiment rationnel.

Cette condition préjudicielle, admise depuis deux ou trois ans par tous les ingénieurs américains, étant supposée remplie, tout se résume pour la distribution dans la formule suivante.

Traiter le circuit de retour, pris à part, exactement comme celui d'un réseau d'éclairage et suivant les mêmes méthodes, mais avec une tolérance un peu plus forte sur les différences de potentiel (tolérance qui dépendra du règlement à venir en France, peut être 5 volts) et en tenant compte du faible prix relatif du fer par rapport au cuivre. A ce point de vue, proportionner autant que possible les rails, de façon que leur section soit 80 fois au moins la section du fil aérien et de son distributeur, et employer des feeders de retour égaux aux feeders d'aller et aboutissant aux mêmes points à moins qu'il ne soit nécessaire de les rapprocher d'avantage; n'ajouter aux rails un distributeur de retour que s'il est impossible de les renforcer davantage ou de leur donner des joints bien conducteurs.

Vérifier les potentiels à l'aide de fils pilotes ainsi que cela a été expliqué.

La question est ainsi envisagée dans sa généralité la plus grande, pour des réseaux complets se prêtant à une distribution rationnelle.

Dans tous les cas il est sage de ne pas se leurrer d'espoirs chimériques et de ne pas croire que la parfaite continuité des rails puisse dispenser de se soumettre aux principes généraux des distributions de lumière; toutes les fois qu'on devra recourir à des feeders pour la ligne aérienne, il en faudra en général d'au moins équivalents pour le retour, et la seule économie qu'on puisse réaliser réside dans le moindre prix de l'acier employé comme conducteur de contact ou comme distributeur. Encore sera-t-il bon de ne pas lui attribuer une conductibilité imaginaire plus grande que celle qu'il peut offrir pratiquement.

A. Blondel.

RECHERCHES SUR L'AIMANTATION DE LA MAGNÉTITE CRISTALLISÉE (¹)

II. Influence de l'aimantation résiduelle

La courbe de la composante de l'aimantation parallèle au champ est tout à fait analo-

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 487; 13 juin 1896, et t. VIII, p. 56, 11 juillet.

gue à celle obtenue dans les échantillons précédents. Quant à l'aimantation transversale elle présente la particularité suivante : Quand on porte, pour le disque parallèle à la face du cube les aimantations comptées à partir d'une origine arbitraire en ordonnées les angles étant portés en abscisses (fig. 17 courbe II), les maxima et les minima, au lieu d'être sur deux droites horizontales, ont une allure régulièrement ascendante. Il semblerait que la rotation continue du disque fasse passer un flux indéfiniment croissant dans une bobine disposée pour la mesure de l'aimantation transversale. Cette apparence bizarre s'explique par le procédé de mesure employé et comme conséquence de l'aiman-

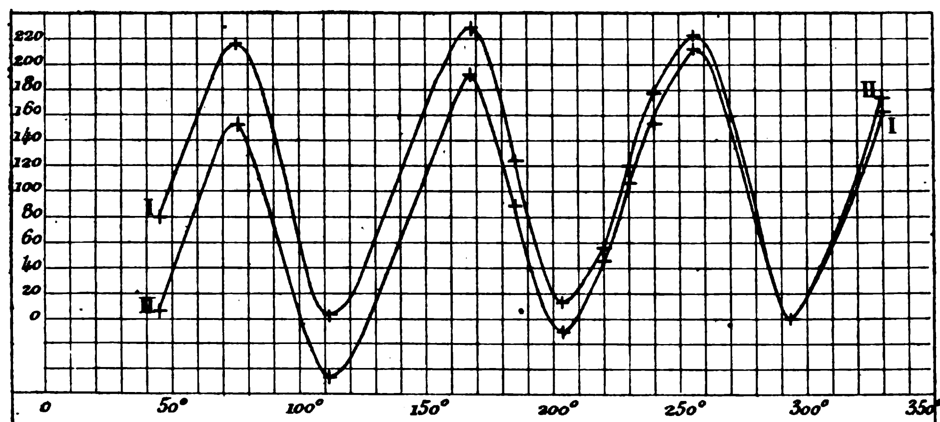


Fig. 17. — ***Magnétite de Traverselle.*** **Disque parallèle à la face du cube, aimantation perpendiculaire au champ.**
I. Courbe corrigée de l'aimantation résiduelle.
II. Courbe expérimentale, sans correction.

tation résiduelle. Pour déterminer la variation de l'aimantation transversale correspondant à une rotation donnée du disque on limitait sa course par deux butoirs et on le faisait osciller entre les positions ainsi déterminées en mesurant à chaque mouvement la variation de flux. On procédait ainsi de maximum en maximum du flux transversal. Quand un semblable intervalle comprend un axe d'aimantation totale maxima, la rotation de l'aimantation se fait dans le même sens que la rotation du disque, quand au contraire il contient un axe d'aimantation minima l'aimantation tourne en sens inverse de la rotation du disque.

Quand on fait tourner un disque isotrope d'une manière continue dans un champ magnétique son mouvement entraîne l'aimantation dans le sens de la rotation d'un angle constant par suite de l'aimantation résiduelle. Quand on le fait osciller entre deux positions fixes, on fait osciller de même l'aimantation de part et d'autre du champ ; et une bobine disposée pour la mesure de l'aimantation transversale donnera à chaque oscillation le double de la composante de l'aimantation perpendiculaire au champ due à l'aimantation résiduelle. Quand l'aimantation, au lieu d'avoir une direction constante, oscille par suite des propriétés non isotropes de la substance les variations de flux perpendiculaires au champ provenant de l'aimantation résiduelle s'ajoutent algébriquement à celles qui traduisent le phénomène principal. Il en résulte que les variations d'aimantation transversale correspondant à une rotation de

l'aimantation dans le sens du mouvement du disque sont augmentées, tandis que celles qui correspondent à une rotation de sens contraire sont diminuées, d'où le caractère ascendant de la courbe.

J'ai vérifié l'explication que je viens de donner par les expériences suivantes : En reprenant le disque parallèle à la face du cube j'ai déterminé expérimentalement sa position pour trois maxima consécutifs de l'aimantation transversale :

50°,5
103°,5
134°,4.

Les deux premiers comprennent un axe binaire, les deux derniers un axe quaternaire. Si au lieu de faire décrire au disque en une fois l'angle comprenant l'axe binaire on le partage en deux parties pour lesquelles on mesure séparément la variation du flux transversal, dans chacune d'elles l'aimantation tournera dans le même sens que le disque, et l'aimantation résiduelle produira une augmentation du flux transversal, égale à celle qu'elle produisait dans l'angle non subdivisé. La somme des variations de flux transversal doit donc être supérieure à la variation qu'on observe quand le mouvement se fait en une fois, d'une quantité égale au double de l'aimantation transversale due à l'aimantation résiduelle. La même augmentation doit continuer à se produire quand on subdivise de la même manière chacun des intervalles partiels. Dans le deuxième intervalle comprenant un axe quaternaire, au contraire, la subdivision doit diminuer la variation observée du flux transversal. C'est ce que montrent les nombres suivants :

Rotation du disque			Impulsion	
50°5	à	103°5	179	
50,5		76	87,3	
76		103,5	97,5	
			184,8	Augmentation 5,8
50,5		66	38,4	
66		76	52,6	
			91,0	Augmentation 3,7
76		90	70,1	
90		103,5	30,4	
			100,5	Augmentation 3,0
103°5	à	134°	204,2	
103,5		118	86,0	
118		134	109,4	
			195,4	Diminution 8,8
103		112	31,2	
112		118	49,8	
			81,0	Dimiuution 5,0
118		125	65,1	
125		134	37,6	
			102,7	Diminution 6,7

L'augmentation ou la diminution est plus faible à la deuxième subdivision des intervalles ; on doit en conclure que l'aimantation résiduelle ne prend toute sa valeur que pour des rotations supérieures à une dizaine de degrés. J'ai corrigé sur la figure 17 l'influence de l'aimantation résiduelle en évaluant une valeur moyenne de la correction, tantôt positive tantôt négative à apporter à chaque impulsion au moyen de l'inclinaison des lignes joignant les maxima et les minima. J'ai obtenu ainsi la courbe I. Elle est remarquablement régulière et beaucoup plus satisfaisante que la courbe analogue trouvée pour la magnétite de Brozzo (fig. 14), pour laquelle le disque parallèle à la face du cube était un peu fendillé. L'aimantation transversale du disque parallèle à la face du dodécaèdre est concordante, d'une manière générale, avec les résultats des autres disques de même orientation. Il montre la même influence de l'aimantation résiduelle que le disque parallèle à la face du cube, mais la forme plus compliquée de la courbe ne permet pas aussi facilement de faire la correction.

12. DISQUE DE TOILE DE FER.

J'ai cherché à obtenir des courbes analogues à celles données par la magnétite au moyen d'un système magnétique de structure convenable formé d'une substance isotrope.

J'ai employé à cet effet un disque de toile de fer de 20 mm de diamètre composé de deux systèmes de fils rectangulaires.

Quand on place ce disque dans un champ magnétique un peu intense l'une des directions à 45° sur les fils s'oriente énergiquement suivant les lignes de force. La direction des fils est donc un minimum d'aimantation et

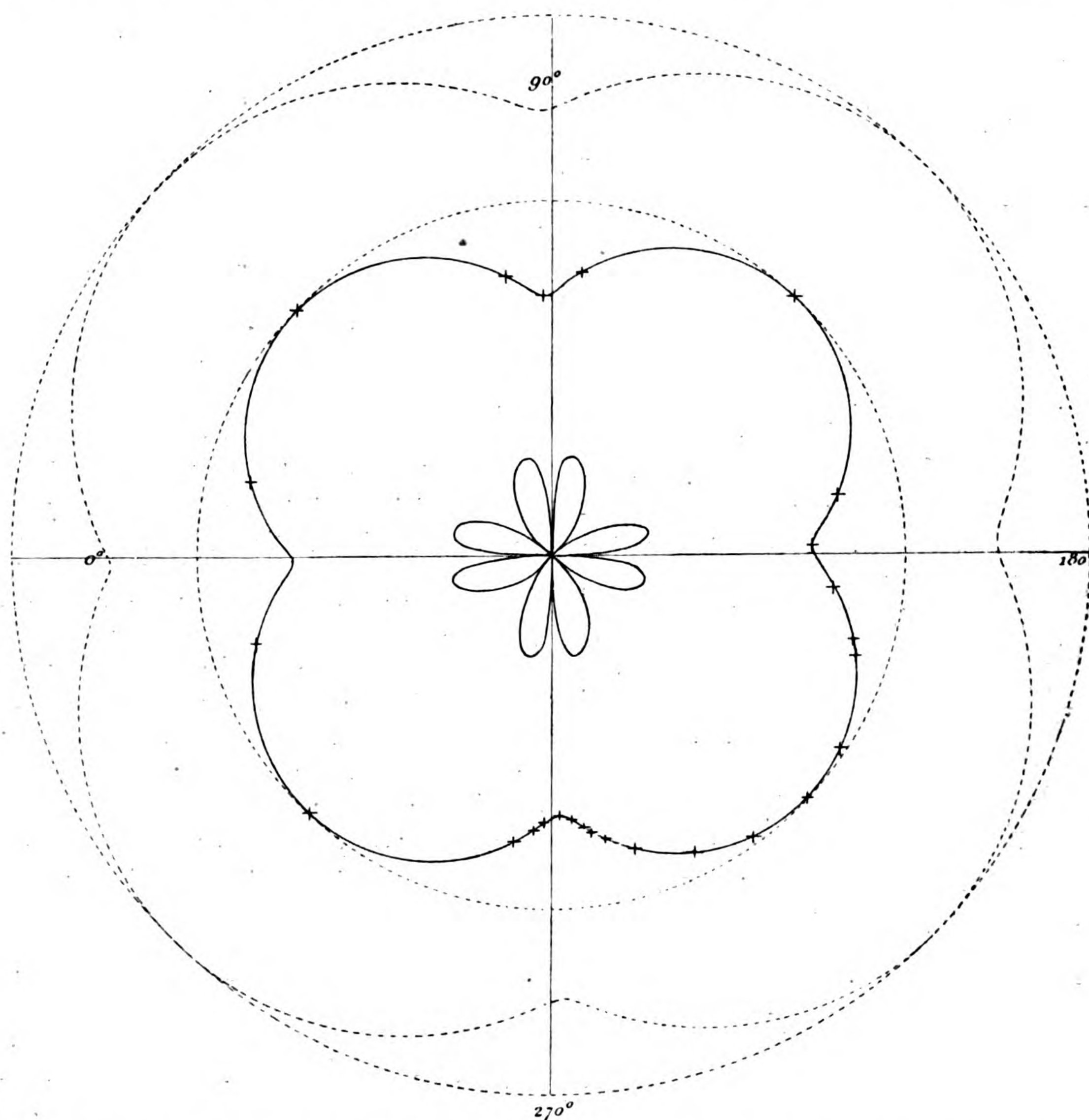


Fig. 18. — Disque de toile métallique. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ.

doit jouer le même rôle que l'axe quaternaire de la magnétite. C'est bien ce qui résulte des mesures suivantes :

Aimantation parallèle au champ

Angles			Aimantation
274			464 + 42
271			+ 2,6
267	m	Direction des fils	0
263			+ 8,8
260			+ 20,8
255			+ 44,4
245			+ 96,6
235	M		+123,6
215			+120,6
200			+ 74,8
178,5	m		— 38,8
131,5	M		+131,7

87	m	— 1,8
45	M	+ 129,6
359	m	— 29,8
310	M	+ 129,7
267	m	— 1,8

Aimantation perpendiculaire au champ

Angles (maxima)	Aimantation comptée à partir d'une origine arbitraire
349	0
5,5	— 294
80,5	+ 107
97	— 110
169	+ 249
192	— 110
256	+ 314
286	+ 3
349	+ 443

Ces nombres sont représentés dans la figure 18. La courbe extérieure, en traits pleins représente l'aimantation parallèle au champ. La courbe intérieure représente la composante transversale. Ces courbes sont assez semblables à celles du disque de magnétite parallèle à la face du cube.

Dans l'hypothèse sur la constitution du cristal de magnétite, suivant laquelle il se comporterait comme un enchevêtrement de trois systèmes de plans rectangulaires de matière magnétique séparés par des couches non magnétiques, les fils de la toile métallique seraient analogues aux baguettes découpées par le plan du disque dans les deux systèmes de lames qui lui sont perpendiculaires. Pour représenter le troisième qui est parallèle au plan du disque, il faudrait ajouter à celui-ci un disque de fer continu dont la masse serait égale à celle de l'un des systèmes de fils. Ce disque ajouterait à l'aimantation observée une aimantation constante, égale à la moitié du maximum de l'aimantation de la toile métallique

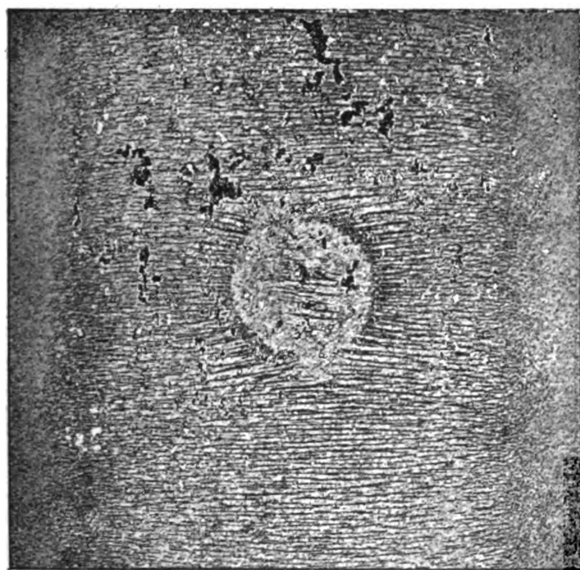


Fig. 20. — Déformation d'un champ magnétique par un disque de magnétique parallèle à la face du dodécaèdre. Position symétrique.

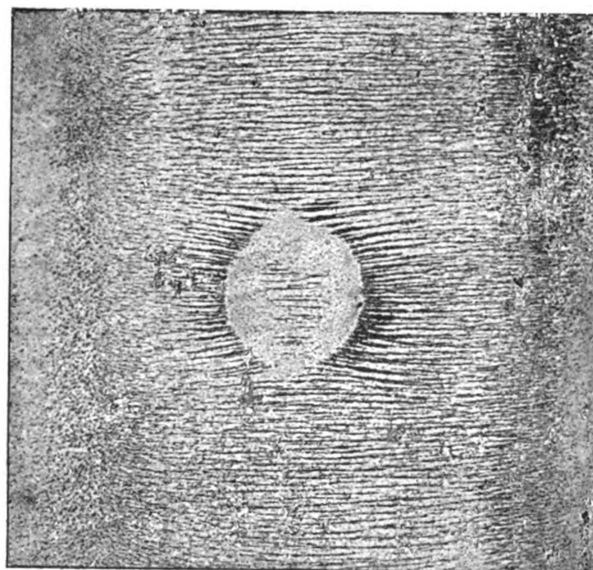


Fig. 21. — Déformation d'un champ magnétique par un disque de magnétite parallèle à la face du dodécaèdre. Position dissymétrique.

En modifiant ainsi la courbe trouvée expérimentalement, j'ai obtenu la couche pointillée de la figure 18. Elle ressemble encore davantage à celle de la magnétite.

Dans ces expériences, j'ai pu faire décrire au disque une circonférence entière, en plaçant, pour une partie des mesures, la bobine dans une position différant de 180° de la pre-

mière. En revenant au rayon vecteur origine à 267° après un tour complet, la somme des 8 impulsions observées doit être nulle. Je trouve 1,8 alors que dans l'intervalle la valeur de l'aimantation s'est élevée 4 fois à 130 environ. La vérification est donc aussi complète que possible.

Il n'en est pas de même pour l'aimantation tranversale où nous retrouvons l'influence de l'aimantation résiduelle. Au lieu de revenir à zéro, la somme des impulsions suit une marche ascendante et atteint, après un tour complet 443. Je me suis contenté pour tracer la figure de déterminer la position des maxima d'aimantation transversale et la valeur moyenne de sa variation quand on passe d'un maximum au suivant.

13. EXPÉRIENCES QUALITATIVES.

On peut mettre en évidence les propriétés magnétiques des disques non isotropes par des expériences qualitatives très simples.

Si l'on pose un disque de magnétite D,

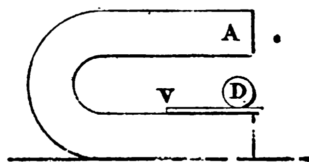


Fig. 19.

(fig. 19) sur un plan de verre V placé intérieurement sur l'une des branches d'un aimant A dont le champ est vertical, le disque se place verticalement dans le plan de symétrie de l'aimant et tout en glissant vers la région où le champ est maximum, s'oriente de façon à diriger un de ses axes d'aimantation maxima parallèlement au champ.

Si on l'écarte de sa position d'équilibre par une rotation, il y revient énergiquement à moins que par suite d'un écart un peu grand un autre axe d'aimantation maxima se substitue au premier.

Le disque parallèle à la face de l'octaèdre ne montre aucune tendance à s'orienter.

Nous avons vu plus haut que le champ magnétique est dévié dans l'intérieur du disque en sens inverse de l'aimantation. A l'extérieur, au contraire, on doit avoir une déviation du champ de même sens que l'aimantation mais moins accentuée.

On peut mettre ces déformations du champ en évidence au moyen des spectres magnétiques. Les photographies fig. 20 et 21 représentent le champ déformé par un disque parallèle à la face du dodécaèdre placé, dans la figure 20 symétriquement par rapport au champ et se comportant comme un disque isotrope et dans la figure 21, placé à peu prés suivant l'orientation donnant la dyssimétrie maxima du champ.

Elles ont été faites dans un champ plus faible que celui des mesures pour donner au champ démagnétisant une importance relative plus grande. Le disque était fixé sous la plaque photographique avec un peu de cire. On saupoudre de limaille la face gélatine à la lumière rouge et on impressionne avec une flamme de gaz. On obtient ainsi le négatif dont les épreuves ci-jointes sont les copies positives.

Pierre Weiss

SUR L'ÉQUIVALENCE DES FLUX DE CONDUCTION ET DES FLUX DE DÉPLACEMENT

Soient $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, les composantes de la polarisation en un point d'un diélectrique dont l'état de polarisation varie ; pour simplifier, supposons que ce diélectrique soit immobile ; Helmholtz admet, et c'est aussi la pensée de Maxwell, du moins dans quelques-unes de ses œuvres, que ce diélectrique exerce et subit les mêmes actions électrodynamiques qu'un conducteur de même forme, parcouru par des flux électriques dont les composantes en chaque point ont pour valeur

$$u=\frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t}, \quad v=\frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t}, \quad w=\frac{\partial \mathfrak{C}}{\partial t}.$$

$\frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t}, \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t}, \frac{\partial \mathfrak{C}}{\partial t}$, sont les composantes du *flux de déplacement*.

Cette hypothèse ne paraît pas s'accorder avec certaines des lois expérimentales établies, ou tout au moins rendues probables, par les expériences de H. Hertz et de ses continuateurs.

Nous avons proposé (¹) une hypothèse moins restreinte que la précédente; selon cette hypothèse, un diélectrique dont l'état de polarisation varie avec le temps exercerait et subirait les mêmes actions électrodynamiques qu'un conducteur traversé par un flux électrique qui aurait pour composantes

$$u = \frac{1}{\Theta}\frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t}, v = \frac{1}{\Theta}\frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial t}, w = \frac{1}{\Theta}\frac{\partial \mathfrak{C}}{\partial t}, \qquad (1)$$

Θ étant une constante.

Nous avons développé cette hypothèse dans diverses publications dont les conséquences sont résumées dans ce journal (²). Nous avons montré que, grâce à cette hypothèse, on pouvait, par les méthodes de Helmholtz et, par conséquent, sans troubler aucunement le développement classique des théories électriques, mettre les formules de l'électrodynamique en parfait accord avec la plupart des lois vérifiées par les expériences hertziennes.

Il est toutefois un point où cet accord se trouve en défaut.

Une onde qui propage des flux transversaux, se déplace dans un diélectrique avec une vitesse qui est donnée par la formule [*Loc. cit.* égalité (26)].

$$\tau = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}} \frac{1}{(1+4\pi f)4\pi\varepsilon K}},$$

où les diverses lettres ont des significations indiquées dans l'article en question. Il en résulte que si 1 et 2 sont deux diélectriques quelconques, on a

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \sqrt{\frac{(1+4\pi f_2) K_2}{(1+4\pi f_1) K_1}}. \qquad (2)$$

(¹) Quelques remarques sur l'électrodynamique de J. Clerk Maxwell (*Comptes rendus du 3ᵉ Congrès scientifique des catholiques*. Bruxelles, 1894.)

(²) Sur l'interprétation théorique des expériences Hertziennes. (*L'Éclairage Électrique*. tome IV, p. 494, 1895.)

Or, les expériences de M. Blondlot, et les expériences plus récentes de MM. Cohn et Zeemann, ont montré que le rapport $\frac{\tau_1}{\tau_2}$ était, dans le cas où les diélectriques 1 et 2 ne sont point magnétiques ($f_1 = f_2 = 0$), égal à la racine carrée du pouvoir inducteur spécifique du corps 2 par rapport au corps 1 :

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \sqrt{\frac{1+4\pi\varepsilon K_2}{1+4\pi\varepsilon K_1}}. \qquad (3)$$

Cette égalité est évidemment incompatible avec l'égalité (2).

Il convient donc de modifier notre théorie en quelque point, afin d'éviter ce désaccord.

Nous avons été amené à supposer que dans les égalités (1), Θ devait être considéré non point comme une constante, mais comme une quantité variable avec l'état de la matière au point considéré et avec l'intensité de la polarisation en ce point. Si, pour simplifier, nous ne tenons point compte de cette dernière variable, et si nous regardons Θ comme une simple fonction de la nature du diélectrique au point considéré, les résultats exposés dans notre travail : *Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes* seront fort peu modifiés ; il suffira, dans toutes les formules, de remplacer la constante $\mathfrak{C}$ par la quantité $\frac{\mathfrak{J}}{\Theta}$ qui varie avec la nature du diélectrique. C'est ainsi que la vitesse de propagation des flux transversaux dans un diélectrique aura pour expression

$$\tau = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{J}^2}{2}} \Theta^2 \frac{1}{(1+4\pi f)4\pi\varepsilon K}}, \qquad (4)$$

tandis que la vitesse de propagation des flux longitudinaux aura pour expression

$$\mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{J}^2}{2}} \frac{\Theta^2}{\lambda} \frac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}}. \qquad (5)$$

L'égalité (3) doit être vérifiée lorsque l'on a $f_1 = f_2 = 0$. Dès lors, l'égalité (4) montre que l'on doit avoir

$$\frac{\Theta_1}{\Theta_2} = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon K_1}{4\pi\varepsilon K_2} \frac{1+4\pi\varepsilon K_2}{1+4\pi\varepsilon K_1}}. \qquad (6)$$

D'ailleurs, dans l'éther, la vitesse de propagation des flux transversaux est égale à la vitesse de la lumière, par conséquent à la contante v qui sert à passer du système électromagnétique au système électrostatique d'unités. On a donc

$$\tau_0 = v = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{1}{(1+4\pi f_0)(1+4\pi\varepsilon K_0)}}.$$

Cette égalité, jointe à l'égalité (4) donne

$$\Theta_0 = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon K_0}{1+4\pi\varepsilon K_0}}. \qquad (7)$$

Les égalités (6) et (7) montrent que l'on a, pour tout diélectrique,

$$\Theta = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon K}{1+4\pi\varepsilon K}}. \qquad (8)$$

Les égalités (4) et (5) deviennent alors

$$\tau = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{(1+4\pi f)(1+4\pi\varepsilon K)}{1}}, \qquad (9)$$

$$\mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{1}{\lambda}}. \qquad (10)$$

D'où ces deux théorèmes remarquables :

Les flux longitudinaux se propagent dans tous les diélectriques avec la même vitesse.

La vitesse de propagation des flux transversaux dans un diélectrique est égale à la valeur qu'aurait le rapport de l'unité électrostatique de charge électrique à l'unité électromagnétique si, pour définir ces unités, on supposait les corps plongés non point dans l'éther, mais dans le diélectrique considéré.

Dans notre travail *sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes*, nous avons prouvé, par des raisons qui conservent ici toute leur valeur, que l'on avait

$$\lambda = (1+4\pi\varepsilon K_0)(1+4\pi\varepsilon f_0).$$

L'égalité (10) devient alors

$$\mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{1}{(1+4\pi f_0)(1+4\pi\varepsilon K_0)}} = v \qquad (11)$$

La commune vitesse de propagation des flux longitudinaux dans tous les diélectriques est égale à v, c'est à dire à la vitesse de la lumière dans le vide.

P. Duhem.

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PERFECTIONNEMENTS

A LA CONSTRUCTION DES TUBES DE CROOKES DESTINÉS A LA PHOTOGRAPHIE PAR LES RAYONS DE ROENTGEN

Les images fournies par les rayons de Roentgen étant assimilables à de véritables ombres portées par des radiations à trajectoire rectiligne, la condition de netteté pour ces images est que la source qui émet les rayons ait une étendue extrêmement petite, et autant que possible, assimilable à un point.

Cette condition était très mal réalisée dans les premiers tubes employés pour produire les photographies à travers les corps opaques. En effet le rayonnement cathodique venait frapper une grande partie de la surface de l'ampoule et c'était toute cette partie qui émettait les rayons X. Alors l'impression produite sur la plaque sensible perdait toute netteté et les contours des images s'entouraient d'une large pénombre, dès que l'objet à photographier s'éloignait à quelques millimètres de la surface de cette plaque.

Cet inconvénient a été atténué en grande partie par l'emploi de cathodes concaves qui rendent convergent le faisceau cathodique. En coupant ce faisceau, dans sa partie la plus étroite, par la surface qui doit émettre les rayons X, celle-ci ne devient active que sur une petite étendue et les images gagnent en netteté. Mais cette concentration du faisceau cathodique est accompagnée d'un dégagement de chaleur considérable ; de sorte que l'emploi des cathodes concaves n'a donné que des résultats médiocres tant qu'on n'a concentré le faisceau que sur l'enveloppe de verre de l'ampoule, car ce verre s'altérait et s'échauf-

fait rapidement au point d'entrer en fusion, ce qui mettait l'appareil hors de service.

M. J. Perrin ayant montré que tout corps solide intérieur à l'ampoule devient centre d'émission pour les rayons X quand il est frappé par le flux cathodique, on songea à concentrer ce flux sur une lame de platine placée au centre de l'ampoule et pouvant être portée sans inconvénient, à une température élevée. C'est d'après ces données que sont construits les tubes du genre dit *focus* (voir fig. 1, demi-grandeur naturelle) qui sont universellement employés aujourd'hui et qui donnent, avec des poses très abrégées, des épreuves bien meilleures que les anciens tubes.

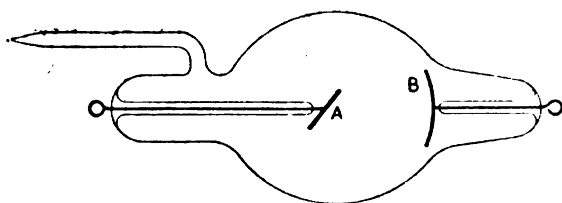


Fig. 1. Tube focus ordinaire (en demi grandeur).

La forme et les dimensions que l'on donne habituellement à ces appareils présentent plusieurs inconvénients qui sont résumés dans les quatre points suivants :

1° Le verre qui forme l'enveloppe doit être assez épais pour ne pas s'écraser sous la pression extérieure ; comme ce verre est peu transparent pour les rayons X, il arrête la majeure partie de ceux qui ont pris naissance à l'intérieur, sur la lame focus. Toute modification ayant pour effet d'augmenter la transparence de la paroi pour ces rayons augmentera évidemment en même temps la puissance de l'appareil.

2° L'espace vide qui règne à l'intérieur entre les parois de l'ampoule et les électrodes est de grandes dimensions. C'est la totalité de cet espace qui participe au passage de la décharge. Il y aurait sans doute intérêt à localiser autant que possible toute l'énergie de cette décharge dans l'intérieur du cône circonscrit à la cathode et au focus.

3° Si l'on admet la théorie du bombardement moléculaire de Crookes, on admettra en même temps que la distance de la cathode à la région anticathodique qui reçoit ce bombardement, doit avoir une grande importance. En effet, pour que les particules de gaz lancées par la cathode puissent engendrer des rayons X en venant frapper l'obstacle placé sur leur trajet, il est nécessaire qu'elles n'aient pas été arrêtées en route par d'autres particules ne prenant pas part, au même instant, à ce bombardement. Ceci aura d'autant plus de chance d'être réalisé que le trajet à parcourir par ces particules sera moins long. D'ailleurs,

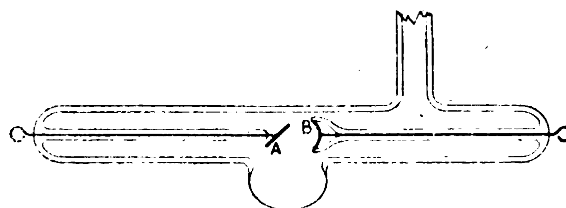


Fig. 2 Tube focus ordinaire (en vraie grandeur).

ainsi que l'a fait remarquer M. Guillaume [1], on peut trouver une cause additionnelle de réduction de vitesse du flux cathodique dans l'action électrodynamique qu'exercent sur les corps voisins ces particules chargées d'électricité et agissant à la manière d'un courant. Comme la décharge consiste en chocs séparés, chacun d'eux exercera une action inductrice qui consommera une partie de son énergie, d'autant plus grande que les rayons cathodiques se propageront sur une plus grande distance.

L'expérience a vérifié qu'il y a bien avantage à donner aux rayons cathodiques une faible longueur. J'ai construit divers tubes dans lesquels la cathode pouvait être amenée à des distances variables de la paroi anticathodique. Quand cette distance est très petite (1 centimètre par exemple) la paroi chauffe et s'altère rapidement, mais elle est très active au point de vue photographique. Tandis que la production des rayons X est très affaiblie quand cette distance atteint seulement 15 à 20 centimètres.

[1] *Société française de Physique* Séance du 19 juin 1896

4° S'il était rigoureusement exact que chaque rayon cathodique se propage dans une direction normale à la cathode, à partir du point où il a été émis, en plaçant la lame focus exactement au centre de courbure de cette cathode, cette lame n'émettrait des rayons X que par un point, et les images obtenues seraient d'une netteté parfaite. Or cette hypothèse sur la direction du flux cathodique n'est pas toujours exacte. J'ai étudié la forme de ce flux émis, dans un tube cylindrique, par une cathode concave, en le coupant à diverses distances par un écran d'une substance telle que la craie ou le spath d'Islande à laquelle les rayons cathodiques communiquent une luminescence très intense partout où ils la frappent. Or j'ai constaté que le point où ce flux présente l'étranglement maximum est souvent bien au-delà du centre de courbure et qu'il est variable avec le degré de vide. Par

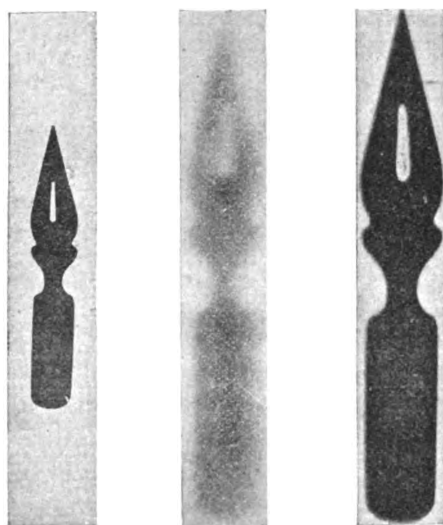


Fig. 3.

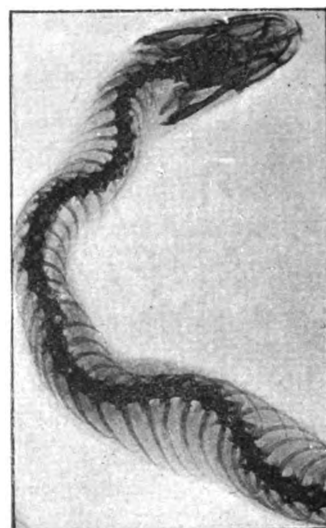


Fig. 4.

suite, la lame focus placée au centre de courbure de la cathode est frappée par le flux, non sur un seul point, mais sur une étendue assez large. C'est alors la presque totalité de cette lame qui émet des rayons X, et les images cessent d'être nettes pour prendre une pénombre très accusée quand la distance de la plaque sensible à l'objet à photographier atteint une valeur notable.

J'ai cherché à éviter ces divers inconvénients en construisant le tube que la figure 2 représente en vraie grandeur. Il est cylindrique et et son diamètre ne dépasse pas 6 à 7 millimètres. Une cathode d'un diamètre de 4 millimètres environ occupe la majeure partie de la section de ce tube et n'est séparée, sur son pourtour, des parois de verre, que par l'espace strictement nécessaire pour ne pas avoir à craindre un échauffement trop dangereux de ces parois. Cette cathode est concave et son rayon de courbure est d'environ un demi-centimètre. A une distance de 7 à 8 millimètres se trouve la lame focus inclinée, comme d'habitude, à 45° sur l'axe du tube, et dont la surface n'est que de quelques millimètres carrés. Grâce à ces faibles dimensions transversales, si le point de concentration du faisceau cathodique ne se trouve pas exactement sur le focus, du moins la surface de section du faisceau par cette lame est toujours très petite, et la netteté des images est toujours assurée.

Pour que les rayons X engendrés à l'inté-

rieur puissent sortir avec le moins d'affaiblissement possible, la paroi a été soufflée en une petite ampoule d'un dixième de millimètre d'épaisseur, juste en face du focus et du côté de la face active de cette lame. Malgré cette minceur extrême, la solidité de la paroi est amplement suffisante pour résister à la pression extérieure, grâce à la très petite dimension de l'ampoule.

Comme le passage de la décharge dans un tube d'aussi faible volume ne manquerait pas d'en altérer rapidement le degré de vide, il faut, ou le laisser adapté à la trompe à mercure pour y établir, au moment voulu, le degré de vide jugé convenable, ou y souder un réservoir assez volumineux formant une réserve de gaz qui lui permettra d'avoir une assez longue durée de fonctionnement.

Des tubes ainsi construits m'ont permis d'obtenir avec des durées de poses très modérées, d'excellentes épreuves radiagraphiques. La figure 3 qui représente une portion du corps d'une couleuvre dont tous les détails du squelette sont parfaitement visibles, est la reproduction partielle d'une de ces épreuves. Elle a été obtenue avec une pose d'une minute. Le tube était placé à 25 centimètres de distance de la plaque sensible et était actionné par une bobine d'induction de 26 centimètres de longueur fournissant elle-même une étincelle de 6 à 7 centimètres.

La netteté de ces épreuves (que l'impression typographique ne conserve malheureusement que d'une façon très imparfaite) prouve que le centre d'émission des rayons X est évidemment très petit. Il m'a paru utile de constater directement qu'il est bien de l'ordre de grandeur prévu lors de la construction du tube. Pour cela j'ai employé la méthode suivante, appliquée déjà dans des conditions analogues, par divers expérimentateurs. J'ai placé juste à égale distance entre une plaque photographique et la lame focus du tube, un écran métallique percé d'une petite ouverture de 0,2 mm de diamètre environ qui joue le rôle de la petite ouverture d'une chambre noire simple. Les rayons X qui passent par cette petite ouverture viennent impressionner la plaque de manière à y reproduire, *en vraie grandeur*, l'image de la source qui les émet. Si au lieu d'une seule ouverture on en perce plusieurs dans l'écran, chacune donne une image de la source et la plaque sensible contient un nombre de ces images égal à celui des ouvertures. Les épreuves obtenues ont montré que le diamètre du centre d'émission des rayons X ne dépassent pas un millimètre. Toutes les images ayant d'ailleurs la même intensité, on en conclut que les radiations émises par ce centre ont le même pouvoir photographique dans toutes les directions. Ce dernier résultat avait d'ailleurs déjà été constaté par plusieurs observateurs. La même opération répétée avec un tube focus ordinaire montre que la partie active qui émet les rayons X a une étendue beaucoup plus grande. Elle comprend même la lame focus toute entière dans le tube qui m'a servi pour ces expériences

J'ai cherché à faire une vérification de ce qui précède par la contre-épreuve suivante : Plaçons à égale distance entre la lame focus et la surface photographique sensible, un objet quelconque. Si la source qui émet les radiations était rigoureusement un point, nous obtiendrions une reproduction photographique de l'objet dont les bords seraient parfaitement nets, et qui serait amplifiée dans le rapport de 1 à 2. Si le centre d'émission a une certaine étendue, on aura encore la même amplification, mais les contours de l'image seront bordés d'une pénombre ayant précisément une largeur identique à celle de la source. Si l'objet a, lui-même, une largeur comparable à celle de cette source, toute l'étendue de son image sur la plaque sensible sera occupée par cette pénombre. Si au contraire, la largeur de l'objet est notablement supérieure à celle de la source, on aura seulement sur les bords une légère pénombre, et l'ombre pure subsistera dans les parties centrales.

Avec le tube focus ordinaire, le centre d'émission est au moins aussi large qu'une plume à écrire, tandis qu'il est beaucoup plus

petit dans le tube modifié qui fait l'objet de cet article. La figure 4 montre que le résultat obtenu est bien conforme aux prévisions. Au centre de cette figure, on a l'image *en vraie grandeur*, de la plume, obtenue en posant directement cette plume sur la plaque sensible. A droite et à gauche, on la voit amplifiée dans le rapport de 1 à 2 avec le tube focus ordinaire et avec le tube modifié. Dans l'un des cas, aucune partie de l'image n'est occupée par l'ombre de l'image proprement dite : la pénombre s'étend partout et enlève toute netteté. Dans l'autre cas, au contraire, on n'a qu'une pénombre n'atteignant pas un millimètre de largeur. (Dans cette expérience la plume était placée à 15 centimètres de la plaque sensible et le tube focus à 30 centimètres ; la pose a été d'une minute).

Un grand nombre de personnes ayant exprimé devant moi le doute (sans donner d'ailleurs aucune raison valable) qu'un appareil d'aussi petite dimension puisse impressionner une plaque sensible de grande étendue, j'ai expérimenté d'abord sur des plaques de dimensions 24 cm × 30 cm qui m'ont fourni d'excellentes épreuves d'un fœtus de six mois, dans lequel tous les détails de l'ossature de la tête sont parfaitement venus. Enfin, j'ai obtenu directement un cliché de dimension 50 cm × 60 cm du cadavre d'un enfant de 4 mois. Dans ce cliché l'impression est aussi intense dans les quatre coins que dans les autres parties. Cette surface de 30 décimètres carrés a donc été parfaitement couverte par les radiations émises par le tube placé à 65 centimètres de distance (¹).

En remplaçant la bobine d'induction de petit modèle par celle du grand modèle courant que tout le monde connaît (actionnée par 6 accumulateurs) j'ai obtenu, avec une seule rupture du courant inducteur, des épreuves instantanées de mains d'enfant dans lesquelles l'ossature est bien visible. Quatre étincelles ont suffi pour donner non seulement le contour des os de doigts d'adultes, mais les détails de ces os.

Comme il était intéressant d'apprécier la durée de la pose qui correspond à une étincelle de l'interrupteur, j'ai photographié à l'aide d'une seule de ces étincelles, une petite roue dentée d'horlogerie en la laissant d'abord au repos, et en lui donnant ensuite un rapide mouvement de rotation. Dans le premier cas, l'image de la denture et des rayons est parfaitement nette ; dans le second les dents ne peuvent plus être distinguées les unes des autres et les rayons sont élargis dant le sens de la rotation. Cet élargissement permet évidemment d'évaluer la durée de l'action photographique si l'on connaît la vitesse de rotation de la roue. Cette évaluation (que je n'ai faite jusqu'ici que grossièrement et que je cherche maintenant à obtenir d'une manière plus rigoureuse) m'a conduit à une durée de pose de l'ordre de grandeur du millième de seconde. J'ajoute que l'aspect de l'épreuve de la roue en mouvement montre qu'une étincelle qui paraît unique, pour l'œil ou pour l'oreille, se compose en réalité de plusieurs autres, soit parce que la décharge est oscillante, soit parce qu'elle est interrompue. C'est à l'ensemble de ces décharges que correspond la duré indiquée plus haut.

Grâce à la finesse des épreuves obtenues avec le tube qui vient d'être décrit, il est facile de produire des photographies stéréoscopiques en prenant deux clichés d'un même objet avec des positions différentes du tube. La sensation de relief obtenue est aussi parfaite que celle que donnent les épreuves stéréoscopiques ordinaires fournies par les meilleurs objectifs (¹). E. COLARDEAU.

(¹) J'ai pu réaliser ces grandes épreuves grâce à l'obligeance de MM. Coutilier, Lévi et Meunier qui ont bien voulu en mettre les sujets à ma disposition dans leurs laboratoires. Je leurs dois ici tous mes remerciements.

(¹) Ce travail a été fait au Laboratoire du Collège Rollin. J'adresse ici tous mes remerciements à mon préparateur, M. Becker, pour l'aide qu'il m'a apportée dans la réalisation de ces expériences.

LA PROPULSION ÉLECTRIQUE
DANS LES ÉGOUTS DE PARIS

Enfin la navigation électrique de plaisance à pris pied dans Paris. Vous vous figurez

peut être qu'en cette saison estivale on peut voir évoluer sur la Seine, aux abords de Paris, des embarcations électriques, équipées à l'instar des nombreux bateaux qui depuis longtemps sillonnent la Tamise dans la banlieue de Londres, et qui ont été décrits en détail il y a déjà 5 ans (¹). Détrompez-vous : nos yachtmen timorés n'ont sont pas encore là. Si

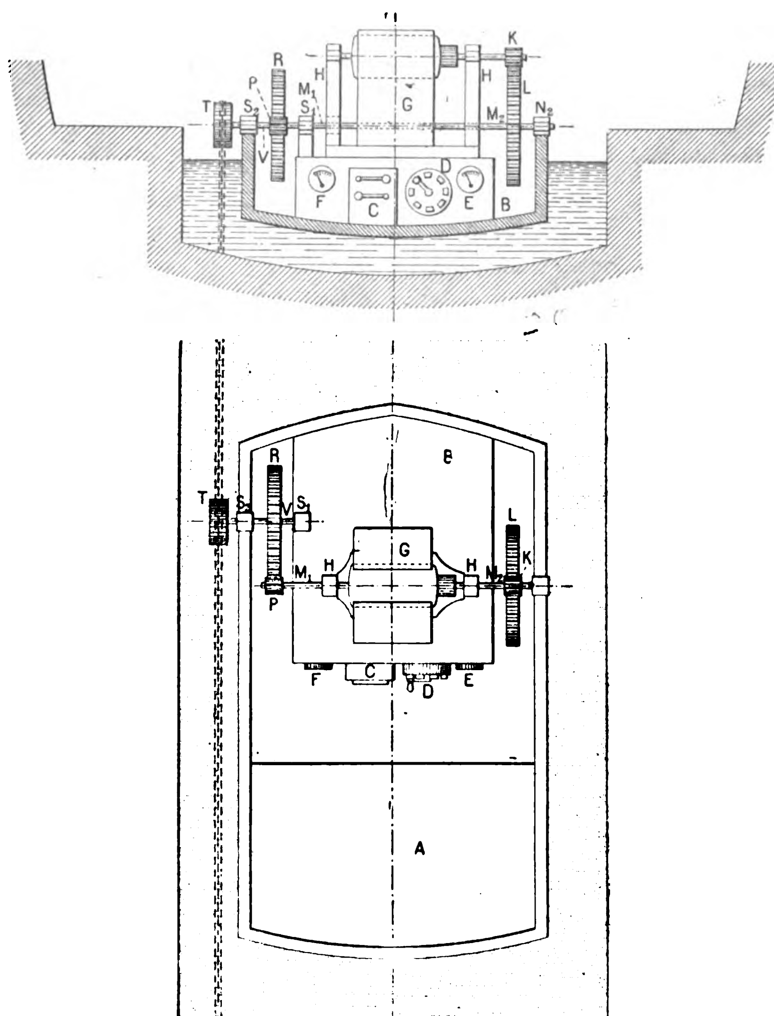


Fig. 1. — Vue en plan et coupe du toueur.

vous voulez faire une promenade électrique, ce n'est pas sur la Seine, mais dans les égouts, qu'il faut aller.

On sait que deux fois par mois, pendant toute la durée de la belle saison, la Ville de Paris fait gracieusement aux étrangers, provinciaux et indigènes l'honneur de ses égouts. Les visiteurs sont divisés en deux groupes marchant en sens inverse et partant l'un de la place du Châtelet et l'autre de la place de la Madeleine. Le trajet comprend 2 parties : du Châtelet à la Concorde le voyage est effectué par un train de wagonnets circulant dans l'égout de la rue de Rivoli ; de la Concorde à la Madeleine, les voyageurs sont transportés dans un train de bateaux marchant sur la portion du grand égout collecteur d'Asnières

(¹) Voir *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, novembre 1891 et *La Lumière Électrique*, p. 314, 14 novembre 1891

située sous la rue Royale. Le nombre des visiteurs est actuellement de 96 personnes au maximum dans chaque groupe. Ces voyageurs sont transportés en un seul train de bateaux dans la rue Royale, mais sont répartis sur le parcours de la rue de Rivoli en 2 trains se succédant à 5 minutes d'intervalle. A la Concorde, les 2 groupes arrivant en sens inverse se rencontrent et un transbordement a lieu sur une partie couverte du grand collecteur : le groupe qui descend du chemin de fer monte dans le bateau et vice versa.

Primitivement les wagonnets, aussi bien que les bateaux, étaient halés par des hommes marchant sur les banquettes de l'égout. Le service était très pénible et ne permettait d'admettre qu'un nombre restreint de visiteurs. On a d'abord, à l'automne 1894, remplacé le halage des wagonnets à bras d'homme par la traction électrique, au moyen d'un petit locomoteur de construction rudimentaire actionnée par accumulateurs.

Le service des égouts a installé cet été, au mois de juin, un propulseur électrique pour remorquer le train de bateaux, de sorte qu'à présent la visite des égouts se fait entièrement dans des véhicules électriques. L'installation du petit chemin de fer électrique a été décrite en détail dans le journal (1) et nous n'y reviendrons pas ; nous voulons simplement décrire sommairement d'après les renseignements qui nous ont été obligeamment fournis sur place par M. Delfini, inspecteur de l'assainissement, l'installation du touage électrique qui vient d'être exécutée dans les égouts.

Le train de bateaux, qui a une longueur totale de 60 m, se compose de 6 barques plates pour les voyageurs et de deux petites barques servant de toueurs électriques, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière du train. La propulsion se fait sur une chaîne noyée que l'on place sur la poulie de touage du bateau-moteur d'avant ou d'arrière, suivant la marche du train. Quand on arrive à l'un des points terminus, au lieu de jeter la chaîne à l'eau, on la pose sur des crochets disposés à cet effet contre le mur de l'égout, de sorte qu'il suffit, pour le retour, de poser simplement la chaîne sur l'autre poulie de touage. La chaîne n'embrasse que les 2/3 environ de la poulie, parce que l'on fait usage des poulies électro-magnétiques de Bovet, dont il a été souvent parlé dans le journal.

Le grand égout collecteur d'Asnières mesure dans la rue Royale 5,60 m de largeur de voûte, avec une cunette de 3 m de largeur bordée de 2 banquettes de 0,90 m de large. La distance du fond de la cunette aux banquettes est de 1,05 m et la hauteur de la voûte depuis les banquettes est de 2 mètres. L'égout est éclairé par des bouquets de 3 lampes à incandescence suspendus à la voûte tous les 10 mètres environ.

Les bateaux dans lesquels prennent place les voyageurs sont des barques plates ayant 2,30 m de largeur et 6,5 à 8 m de longueur, qui servaient au dragage de l'égout. Elles ont été aménagées en y plaçant deux banquettes longitudinales pouvant contenir soit 16, soit 20 personnes. Les deux toueurs électriques renferment exactement les mêmes appareils moteurs, mais celui qui se trouve du côté de la Concorde renferme de plus une batterie d'accumulateurs. Ce toueur générateur a 4 m de long tandis que l'autre ne mesure que 2,80 m de longueur ; leur tirant d'eau est de 0,40 à 0,45 m. Ils ont tous deux 2,20 m de largeur et 2,40 m en comptant la poulie de touage.

La batterie d'accumulateurs destinée à fournir le courant au moteur électrique de tête ou de queue se compose de 60 éléments Fulmen disposés dans une cale couverte occupant la moitié environ du grand toueur. Les accumulateurs Fulmen qui ont une capacité de 150 ampères-heure sont très légers, ils pèsent brut 17,5 kg chacun et contiennent 11,9 kg de plaques. La batterie entière ne pèse brut que 1000 kg environ. Les accumulateurs peuvent fournir pendant 2 heures et demie un débit de 60 a 65 ampères, ce qui

(1) Voir *Application de la traction électrique dans les égouts de Paris*, par M. Brunswick ; *l'Éclairage Électrique*, 29 septembre 1894, p. 97.

constitue un régime de décharge très dur, de 5 ampères par kg de plaque.

Dans les plaques Fulmen, la matière active n'est pas appliquée sous forme de pâte ou pastilles sur un support en plomb, mais entoure simplement un quadrillage en plomb très simple. Elle est retenue dans une sorte de sac fermé en celluloïd pur transparent ne portant que des ouvertures très fines de 0,8 mm qui donnent passage à l'eau acidulée mais ne doivent pas laisser passer la matière active semi-pulvérulente. L'ensemble des plaques est placé dans un vase extérieur en celluloïd transparent fermé par un couvercle collé, également en celluloïd transparent, ne portant comme ouvertures qu'une petite cheminée pour le dégagement des gaz et 2 échancrures pour le passage des électrodes. Ces vases extérieurs en celluloïd ont l'avantage d'être très robustes quoique très légers, et de conserver la

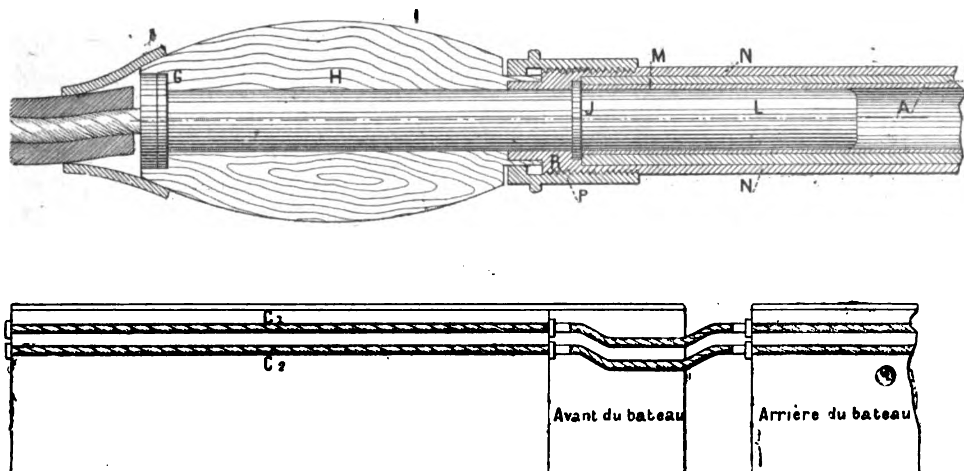


Fig. 2 et 3.

batterie dans un état parfait de propreté, sans avoir besoin de la nettoyer, car pratiquement les accumulateurs se trouvent ainsi presque hermétiquement clos. Par contre, il est impossible de visiter les éléments sans couper et remplacer le couvercle en celluloïd des bacs.

La figure 1 donne le croquis du grand toueur. En A se trouve la soute à accumulateurs et en B une plateforme supportant les appareils-moteurs. Sur le devant de cette plateforme sont placés deux commutateurs C permettant de coupler les 2 moitiés de la batterie en tension ou en quantité, un rhéostat de réglage D et enfin un voltmètre E et un ampèremètre F.

L'électromoteur est une machine bipolaire G type supérieur, de 5 kilowatts, excitée en shunt, dont le bâti I est fixé sur la plateforme B. A l'extrémité de l'arbre J du moteur placé transversalement au bateau, est calé un pignon denté K de 0,135 m de diamètre, qui fait mouvoir par une roue dentée L de 0,84 m de diamètre un arbre intermédiaire horizontal $M_1 M_2$ situé juste au-dessous de l'arbre J du moteur. Cet arbre intermédiaire $M M_1$ traverse par des ouvertures libres les paliers du moteur et passe entre les jambes de l'électro-inducteur ; il est maintenu par deux paliers $N_1 N_2$ montés sur le platbord du bateau. Il porte à son extrémité M_2 un pignon P de 0,11 m de diamètre en prise avec une roue dentée R de 0,80 m de diamètre. Cette roue R, placée en arrière du pignon P, est montée sur l'arbre très court S_1 S_2 de la poulie magnétique T. La vitesse angulaire du moteur, qui est d'environ 1 200 tours par minute, se trouve diminuée dans le rapport de 1 : 45 par la double

réduction du train d'engrenages. La vitesse angulaire de la poulie magnétique est d'envi-viron 26 tours par minute et la vitesse de propulsion de 38 à 40 mètres par minute.

Le harnais d'engrenages qui commande la poulie magnétique possède des roues ordinaires en acier taillé, mais le harnais qui transmet le mouvement de la dynamo à l'arbre intermédiaire présente une particularité assez curieuse. La grande roue dentée est en fer, comme d'habitude, mais le pignon qui tourne à 1 200 tours est formé de rondelles de cuir de préparation spéciale pressées les unes contre les autres. Ce nouveau système de pignon légèrement élastique, créé par la maison Piat, rend la transmission très douce et pourra, s'il se comporte bien en service, remplacer dans beaucoup de cas les galets de friction papier sur fer qui ne donnent par toujours une adhérence parfaite.

Le moteur peut marcher à 130 volts avec les 2 moitiés de la batterie reliées en tension ou à 65 volts avec les 2 moitiés réunies en quantité. En pratique on n'a jamais besoin de coupler les accumulateurs en série, la tension de 65 volts suffisant largement, même pour remonter le courant de l'eau lorsqu'on va de la Madeleine à la Concorde. Lorsqu'on descend le courant de l'eau, l'intensité du courant électrique est de 20 à 25 ampères, soit une puissance de 1 600 watts, tandis qu'à la montée elle atteint 55 à 60 ampères, soit une puissance de 3 900 watts. L'effort de traction est alors de 700 kgs environ.

L'égout de la rue Royale a une longueur de 480 m. Le voyage de la Madeleine à la Concorde se fait en un quart d'heure environ. Les jours de visite le train de bateau fait deux voyages aller et retour ; la batterie d'accumulateurs a donc une capacité largement suffisante pour assurer la marche d'une journée.

Les accumulateurs sont chargés sur le bateau même, au moyen d'un petit tableau de distribution monté dans l'égout, à la descente de la Madeleine et branché sur le réseau de la place Clichy.

Les toueurs électriques, y compris la coque, ont été fabriqués en entier par la *Cie de Fives-Lille*.

La canalisation d'intercommunication a été posée par la maison *Evesque*. La batterie d'accumulateurs devant alimenter aussi bien le petit toueur de queue que le grand toueur sur lequel elle est montée, il est nécessaire de disposer une canalisation électrique sur toute la longueur du train de bateau. On a dû adopter des dispositions particulières pour assurer le bon isolement de cette canalisation, car on se trouvait en présence d'un cas tout à fait spécial : l'atmosphère de l'égout est toujours saturé d'eau et il arrive même souvent que la canalisation est entièrement submergée.

Sur le bateau les conducteurs sont formés par 2 tubes de cuivre A_1 A_2 (fig. 2) de 16 mm de diamètre extérieur et de 1 mm d'épaisseur, isolés par une enveloppe de papier B et protégés par des tubes en fer C_1C_2 (fig. 3) fixés l'un au-dessous de l'autre par des brides, sur le flanc du bateau, à 0,10 m et 0,18 m au-dessous du platbord. Les bateaux sont reliés entre eux par deux câbles formés de 7 fils de cuivre de 16/10 mm isolés au caoutchouc et recouverts d'une enveloppe goudronnée. Ces câbles D_1 D_2, qui ont une longueur suffisante pour rester toujours lâches, viennent s'adapter sur les tubes fixes C_1 C_2 des bateaux par des douilles d'accouplement F_1 F_2, représentées en détail sur la figure 2. L'extrémité du câble est vissée sur un écrou en cuivre G monté à l'extrémité d'une tige en cuivre H passée au travers d'une poignée en buis I. La jonction du câble et de l'écrou G est recouverte d'une forte ligature isolante. La tige H est entourée, près de la collerette J, par une douille isolante R en fibre filetée extérieurement ; elle se termine par une broche L de 65 mm de long et 15 mm de diamètre. Enfin l'extrémité N du tube en fer protecteur est fileté extérieurement et porte un manchon P fileté en laiton. Pour faire la communication on fait pénétrer la broche L dans l'extrémité M du tube fixe de cuivre A jusqu'à ce que la collerette vienne buter contre le tube, puis on

serre le manchon P jusqu'à ce qu'il vienne buter contre la poignée de buis L. On défait la communication par une manœuvre inverse.

Cette canalisation entre les bateaux du train, placée dans les conditions d'isolement les plus défavorables et parcourue par un courant de 60 ampères, n'était pas sans causer une certaine appréhension, aujourd'hui dissipée, car les câbles n'ont donné lieu jusqu'à présent à aucun incident. Tout le reste de l'installation fonctionne également très bien, et l'on ne peut que féliciter le service municipal des égouts d'avoir réalisé cette nouvelle application — sinon importante, du moins curieuse — de l'électricité. CH. JACQUIN.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Accumulateur Gulcher (1896).

La plaque consiste en un cadre servant de support à une sorte de canevas dont la chaîne est en fils de plomb *a* et la trame en fils de verre *b*. Les fils *a* sont soudés au cadre. Ces plaques *f*, (fig. 3) enveloppées de toiles de verre

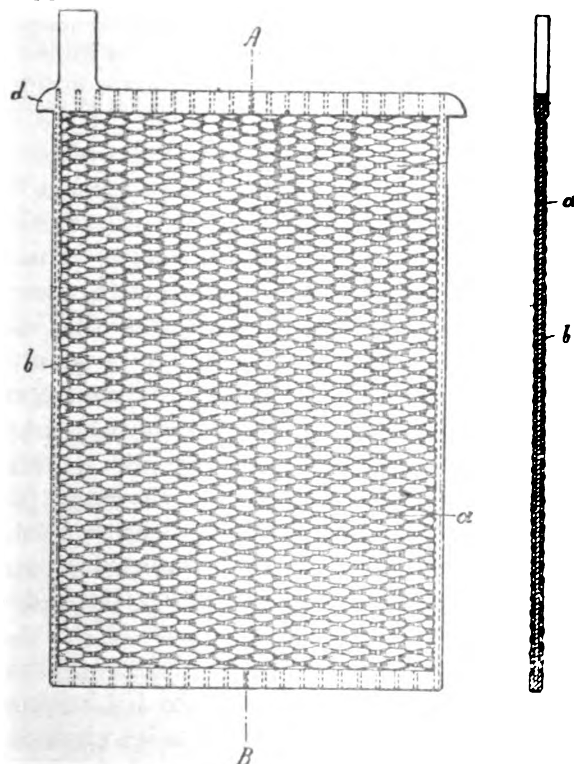


Fig. 1 et 2. — Accumulateurs *Gulcher*, détail d'une vue de face et coupe A B.

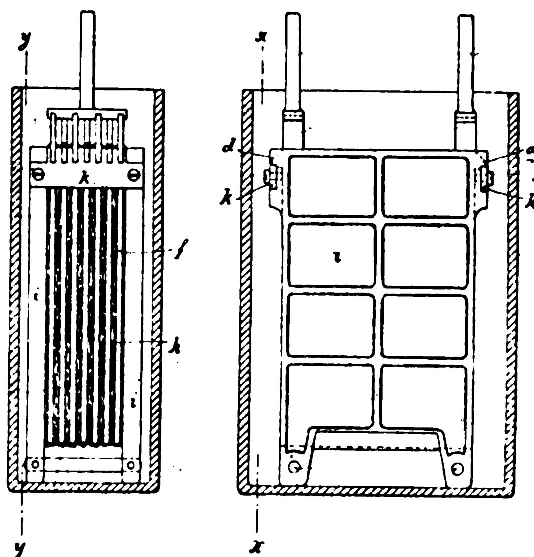


Fig. 3 et 4. — Accumulateurs *Gulcher*, ensemble, coupes *x x* et *y y*.

h, sont serrées entre des montants isolés *i i*, reliés par des peignes *k*, qui reçoivent les encorbellements *d*.

G. R.

Drague à moteurs électriques (¹).

Une nouvelle et intéressante application de l'électricité vient d'être réalisée dans la construction d'une drague dont tous les mouvements sont commandés par des moteurs électriques. Cette drague est destinée à extraire du ballast dans la rivière Esla, près de Benavente, province de Zamora (Espagne), pour la construction d'une ligne de chemin de fer de Plasencia à Asturga. Rappelons d'ailleurs que l'emploi de l'énergie électrique comme force motrice sur les dragues a déjà été appliqué en Amérique et M. Richard donnait récemment dans ce journal (²) la description d'une drague électrique employée dans les rivières aurifères de la Nouvelle-Zélande.

(¹) *Génie civil*, t. XXIX, n° 8, p. 113, 20 juin 1896.
(²) *L'Éclairage Électrique*, t. VI, n° 3, p. 107, 13 janvier 1896.

Celle qui vient d'être construite présente plus d'intérêt que les dragues américaines en raison de son perfectionnement mécanique et son mode de fonctionnement.

A cause des difficultés que les chaînes d'amarrage, servant aux évolutions de la drague, auraient créées pour la navigation dans la rivière, les constructeurs ont adopté un système d'amarrage et de déplacement très simple et peu encombrant qui consiste en un pieu métallique qui traverse la coque à travers une gaîne fixée à l'arrière et qui, par son propre poids, s'enfonce dans le sol et constitue un point de retenue suffisant pour résister aux efforts de traction des godets. Ce pieu sert également de pivot à la drague qui peut se déplacer aisément dans un sens ou dans un autre au moyen de deux hélices mues séparément chacune par un moteur électrique de 25 chevaux, faisant 600 tours par minute et d'une transmission par poulies et courroies.

L'avancement de la drague s'opère au moyen d'un second pieu dit « béquille » qui est disposée à l'avant et fonctionne d'une façon analogue au pivot. Quant l'avancement de la drague est devenu nécessaire, on relève, au moyen d'un treuil électrique, l'une des béquilles ; ensuite une des hélices, selon la position à donner à la drague, est mise en mouvement et la coque se déplace pour venir occuper un autre endroit à creuser ; on laisse ensuite retomber la béquille et le dragage peut recommencer.

La chaîne à godets est actionnée par un moteur de 45 chevaux, à courants polyphasés, tournant à 600 tours. La réduction de vitesse entre ce moteur, qui est placé dans la cale, et l'arbre du tourteau se fait à l'aide d'une transmission par poulies et courroies. Le relèvement de l'élinde s'opère au moyen d'un treuil électrique, actionné par un moteur de 15 chevaux et servant aussi au relevage des béquilles.

Sauf dans le cas d'une mise en marche ou d'un arrêt extrêmement rapide, les moteurs ont une vitesse constante, et les variations des résistances rencontrées se traduisent seulement par un appel plus ou moins grand de courant. C'est ainsi qu'on a pu constater que, lorsque la chaîne tourne à vide, le courant employé varie périodiquement dans les limites qui, exprimées en chevaux, correspondent à 0 et 20. La période où le courant correspond à 20 chevaux est celle où le godet monte soulevé par le tourteau ; le courant est nul quand ce godet abandonne le tourteau.

Il en est de même lorsque la chaîne drague à pleins godets, seulement le courant maximum correspond alors à 30 chevaux.

En définitive, la dépense moyenne de courant serait de 15 chevaux, de sorte qu'il reste une marge très considérable entre la puissance que peut fournir le moteur et celle qui lui est demandée. D'ailleurs, en cas de résistance exagérée, le moteur de 45 chevaux pourrait aisément fournir sans danger, pendant quelque temps, une puissance de 60 à 70 chevaux. Le seul inconvénient qui en résulterait serait la fonte d'un coupe-circuit, ce qui peut être promptement réparé.

La station génératrice a été établie au bord de la rivière, et elle fournit des courants alternatifs polyphasés à 2 000 volts, qui sont amenés à la drague par des câbles aériens. A leur arrivée sur la drague, la tension de ces courants est ramenée à 200 volts par des transformateurs, et c'est sous cette tension qu'ils sont distribués et utilisés par les divers moteurs de la drague. Une cabine spéciale contient le tableau de distribution et de cette cabine un seul homme suffit pour mettre en marche tous les moteurs, dont deux pour les hélices, un pour la chaîne à godet, trois autres pour les treuils de relèvement de l'élinde et des béquilles et enfin un septième moteur actionnant une pompe centrifuge qui émet un courant d'eau pour le lavage des graviers.

L'ensemble de l'installation comporte, en outre, un élévateur qui reprend les cailloux roulés, jetés par la drague dans les chalands et les déverse dans les wagons de ballast. La chaîne des godets de cette élévateur est éga-

lement actionnée par un moteur électrique qui est alimenté par la même station que celle qui alimente les moteurs de la drague.

En résumé, l'installation qui vient d'être signalée constitue une nouveauté très intéressante. Les essais qui ont été pratiqués, dans le Leck, une des bouches de la Meuse, ont donné d'excellents résultats. Néanmoins son fonctionnement actuel n'est que de trop courte durée pour qu'il soit possible de donner des chiffres indiquant son rendement, mais il est bien présumable que ce rendement est au moins aussi élevé que dans les installations où les dragues sont mues directement par la vapeur En tout cas, le personnel se trouve considérablement réduit puisque un homme suffit à la manœuvre de la drague qui vient d'être décrite.

D'ailleurs, dans certains cas, l'application de l'électricité au fonctionnement des dragues peut devenir très économique principalement sur les rivières où il serait possible d'utiliser l'énergie hydraulique pour la transformer en énergie électrique qui serait utilisée pour le dragage.

Effets de la température sur les matières isolantes.

Dans une note lue récemment devant l'*American Institute of Electrical Engineers,* MM. G. F. Sever, A. Monell et C. L. Perry décrivaient une série d'expériences entreprises dans le but de rechercher l'effet de la température sur différents isolants tels que le papier sec, le tissu sec, le papier huilé et le tissu huilé.

Ces expériences portèrent sur 102 échantillons provenant des plus importantes fabriques d'isolants d'Amérique.

L'étuve dans laquelle les matières isolantes étaient soumises à l'épreuve consistait en un cylindre de verre de 0,20 m de diamètre et de 0,25 m de hauteur fermé à ses deux extrémités par des rondelles d'amiante. La partie inférieure de cette étuve était chauffée par douze tubes de résistance émaillés d'environ 0,12 m de longueur et dont les extrémités inférieures traversaient le fond d'amiante du cylindre. A environ deux centimètres au dessus de l'autre extrémité des tubes, c'est à dire à l'intérieur du cylindre, on avait disposé une rondelle métallique perforée pour la circulation de l'air et fixée sur un support ou collier en amiante. Le réglage de la température dans les tubes s'obtenait au moyen d'un rhéostat intercalé dans le circuit.

L'échantillon d'isolant à éprouver était enroulé sur un cylindre de cuivre de 2 cm de diamètre et de 8 cm de longueur et était entouré sur 7 cm de hauteur par un fil de cuivre nu. Cinq de ces cylindres étaient placés sur la rondelle métallique de l'étuve que l'on reliait à une des bornes d'un galvanomètre. Les spirales de cuivre étaient reliées à un interrupteur à cinq touches qui permettait d'intercaler dans le circuit galvanométrique l'un quelconque des cinq cylindres. Le galvanomètre était un galvanomètre Thomson à haute résistance et dans son circuit étaient intercalées une boîte de résistance de 1 megohm et une source d'électricité donnant une différence de potentiel de 500 volts.

Le thermomètre qui servit aux expériences était un thermomètre à azote permettant d'évaluer de 0 à 400° centigrades.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Papier. L'appareil permettant de soumettre à l'épreuve cinq échantillons en même temps, on répéta l'expérience sur 40 spécimens de papier isolant. Après avoir noté la température de l'air ambiant (22° centigrades) on élevait graduellement la température dans l'appareil d'environ 100° en une demi-heure et on observait le thermomètre tous les 10° jusqu'à 80° et après ce point, tous les 20°.

On trouva que la résistance du papier qui n'a pas été préservé de l'humidité par une couche imperméable, diminue entre 22° et 50°, et accroît ensuite rapidement de 50° à 75° où elle atteint son miximum et demeure très constante pour toute espèce de papier, puis diminue rapidement, et à 150° n'est plus qu'une faible portion de la résistance initiale.

Les papiers préservés de l'humidité, par une couche de gomme laque par exemple, se comportent autrement. Leur résistance ini-

tiale est relativement très élevée mais elle décroît très rapidement et d'une façon continue quand la température s'élève.

Cette différence conduit à admettre que l'action de la chaleur donne lieu à deux phénomènes : d'abord l'évaporation de l'eau contenue dans le papier et ensuite quelque changement d'état (non une déformation mécanique) de la matière que les auteurs appellent « coefficient de température », ce coefficient tendant à diminuer la résistance à mesure que la température s'élève.

D'après ces hypothèses, la faible résistance initiale du papier nu est due à l'humidité que renferme le papier et l'augmentation que l'on observe entre 20 et 50° provient de ce que l'effet du coefficient de température prédomine pendant cette période pendant laquelle la matière n'est pas assez chaude pour que l'évaporation de l'eau qu'elle contient commence. La dessication qui se produit ensuite provoque un accroissement rapide de la résistance jusqu'a ce que la température ait atteint 75° ; à ce point l'influence du coefficient de température prédomine et la résistance décroît.

En ce qui concerne les papiers recouverts d'un vernis laqué, la résistance initiale est très élevée, en raison de l'absence d'humidité, mais en les chauffant la résistance diminue rapidement, car la faible quantité d'eau contenue dans la matière s'évapore si lentement que l'effet dû à l'évaporation est trop faible pour réagir sur celui du coefficient de température.

Le papier ne semble pas se détériorer mécaniquement avant d'avoir atteint 180°; audessus de ce point, il commence à se carboniser. A 230° on remarque un phénomène singulier ; la résistance qui est très faible à partir de 175°, s'accroît subitement en proportion notable à l'approche de 230°, puis décroît aussitôt avec la même rapidité.

Tissus. — On expérimenta 20 échantillons de toiles et de mousseline de différentes épaisseurs. L'action de la température sur ces matières est très peu différente de celle qui a été observée pour le papier. La résistance initiale est plus basse en raison de l'humidité contenue en plus forte proportion dans le tissu que dans le papier. Pour cette même raison, lors de l'évaporation, l'accroissement de la résistance est plus considérable qu'avec le papier. Pour la toile comme pour le papier, le maximum de la résistance est à 75°. La carnisation commence à 180° centigrades ; la déformation mécanique commence en ce point jusqu'au-delà de 220°.

Les variations de résistance dans la toile peuvent s'expliquer d'une façon analogue à celle qui a été donnée pour le papier.

Papier huilé. — Sur 14 échantillons de papier huilé d'épaisseurs diverses qui furent soumis au chauffage, on a remarqué que, à l'exception d'un seul spécimen dont la résistance était très élevée, la résistance initiale est plus basse que celle du papier ordinaire.

Les faits observés pendant l'élévation de température sont exactement les mêmes que ceux observés avec le papier laqué, à l'exception que le papier huilé commence à se carboniser vers 120° centigrades.

Toile huilée. — Dans cette dernière série d'expériences on soumit à l'épreuve 28 échantillons de toile, mousseline et soie huilées. La résistance initiale de ces matériaux paraît être de beaucoup inférieure à celle du papier. L'élévation de la température provoque une diminution sensible de la résistance, comme il a été observé pour le papier laqué ou huilé, et qui est attribuée à la même cause. La détérioration mécanique a lieu vers 120° centigrades.

Conclusions. — De ces expériences, on tire les conclusions suivantes :

a. Le papier est un meilleur isolant et supporte beaucoup mieux l'augmentation de température que la toile, papier huilé ou toile huilée.

b. Le papier et la toile atteignent leur maximum de résistance quand ils sont chauffés à 75° centigrades, et ne subissent aucune détérioration mécanique au-dessous de 180° centigrades.

c. Le maximum de la résistance de la toile et du papier dépend de la rapidité avec laquelle la température est élevée jusqu'au point correspondant (75° C).

d. Tous ont une résistance très élevée après le refroidissement, mais ont une résistance mécanique très faible ; le papier et la toile huilés refroidis après avoir été chauffés à 200° sont adhérents aux cylindres qui les portent.

e. Il serait avantageux de soumettre le papier et la toile à un chauffage de 140° centigrades avant l'application de tout vernis isolant.

L. D.

L'utilisation des chutes d'eau pour la production de l'énergie électrique, en Amérique.

L'utilisation de l'énergie des chutes d'eau pour sa transformation en énergie électrique progresse de jour en jour, et bien qu'en France nous ne soyons pas en retard sous ce rapport, il n'est pas inutile de savoir ce qui se passe à l'étranger. Depuis les grands travaux des chutes du Niagara, la question est d'ailleurs à l'ordre du jour dans le monde des électriciens et tout récemment M. Alp. Steiger faisait à la London Institution of Electricals Engineers une longue communication, reproduite par la plupart des journaux d'électricité anglais et américains, sur l'utilisation de la puissance de l'eau, principalement dans le cas des petites chutes, avec quelques exemples d'usines pour la génération de l'énergie électrique.

Nous ne ferons toutefois que signaler cette intéressante communication, les généralités développées par l'auteur sur les turbines et les roues employées pour utiliser la puissance de l'eau ayant été, à plusieurs reprises, présentées à nos lecteurs et la plupart des usines citées comme exemple ayant été décrites dans ce journal. Mais nous retiendrons deux études sur le même sujet, l'une de M. Bushrod C. Washington, publiée par *The Electrical World* et l'autre du Dr C. E. Emery, publiée dans *The Electrical Engineer* de New-York, du 25 juin.

M. Bushrod C. Washington a recensé les stations électriques américaines mises en mouvement par des chutes d'eau et a adressé aux directeurs de chacune d'elles une demande de renseignements sur la hauteur de chute, la puissance utilisée, le mode d'emploi de l'énergie électrique produite, le mode d'accouplement des générateurs d'électricité avec les turbines ou les roues, etc. Ainsi qu'il arrive généralement en pareil cas, des demandes sont restées sans réponse et pour quelques autres tous les renseignements demandés n'ont pas été fournis. L'auteur est néanmoins parvenu à être complétement renseigné sur 124 stations, chiffre déjà respectable, et ce sont ces renseignements qu'il publie dans un long tableau.

De ce tableau il résulte que sur ces 124 stations, 66 n'ont pas de moteurs à vapeur pouvant remplacer ou venir en aide aux moteurs hydrauliques ; que la hauteur de chute, généralement comprise entre 10 et 30 m, n'est dans certaines usines que de 0,66 m (New Berlin) et s'élève, dans d'autres, à 133 m (Moline, Holyoke, Kearney) et même à 283 m (Aspen) ; et que ces stations alimentent près de 200 kilomètres de voies de tramways, 11 430 lampes à arcs et 253 500 lampes à incandescence. Ces chiffres montrent que l'énergie des chutes d'eau est utilisée dans des conditions très diverses et que la quantité d'énergie électrique produite est de quelque importance.

Le Dr C. E. Emery examine le prix de revient de l'énergie empruntée aux chutes d'eau. D'après ses évaluations, les frais d'installation, depuis le barrage jusqu'au point d'utilisation, sont d'environ 700 fr par cheval utilisé et les charges annuelles d'environ 17 pour 100, soit 119 fr par cheval. En admettant que l'usine travaille tous les jours pendant 10 heures par jour, le prix du charbon consommé par an et par cheval n'est, en général, que très peu supérieur à ce chiffre. Si l'on tient compte de la nécessité, où l'on se trouve très souvent, de transmettre l'énergie électrique à une assez grande distance du lieu de production et d'installer des moteurs à vapeur

de secours pour suppléer à un trop faible débit en temps de sécheresse ou à un arrêt de l'usine hydraulique en temps de sécheresse, il semblerait que l'énergie produite par les chutes d'eau ne soit pas meilleur marché que l'énergie produite par les machines à vapeur. C'est sans doute le cas dans certains centres houillers ou pétrolifères, mais, comme le fait remarquer l'auteur lui-même, il est bien des cas où l'eau l'emporte sur la vapeur comme économie. Il est donc permis d'espérer que, malgré les conclusions un peu pessimistes de M. Emery, l'utilisation des chutes d'eau se développera encore en Amérique et qu'en Europe, où la main d'œuvre est à meilleur compte et le charbon plus cher, nous verrons cette utilisation prendre un grand essort, surtout pour les applications électrochimiques.

E. N.

Transformateur universel pour courant alternatif

Cet appareil, étudié par MM. Meylan et Gaiffe a pour objet de permettre l'utilisation du courant alternatif des circuits d'éclairage pour les besoins de l'électrothérapie, dont les applications deviennent de jour en jour plus nombreuses.

Le courant alternatif peut être utilisé en électrothérapie à cinq objets principaux :

1° Comme force motrice pour la commande des machines statiques, des vibrateurs, ou même par la commande de petites dynamos à courant continu ou sinusoïdal ;

2° A la production des oscillations de haute fréquence ;

3° A la galvanocaustie thermique, le courant servant de source de chaleur ;

4° A l'éclairage électrique spécial nécessaire pour l'exploration des yeux, de la gorge ou des cavités telles que la vessie.

2° Au mode d'électrisation préconisé par le docteur d'Arsonval.

Les trois dernières applications ne peuvent s'effectuer en employant directement le courant fourni par les circuits d'éclairage. Dans la galvanocaustie on ne doit se servir que d'un courant de 8 volts au maximum et dont l'intensité peut aller, dans certains cas, jusqu'à 40 ampères. Quant aux lampes médicales elles ont un voltage très variable, de 2 à 16 volts, et demandent un courant de 2 ampères au maximum. Enfin les applications médicales des courants alternatifs à variation régulière exigent une trentaine de volts au maximum, avec des intensités extrêmement faibles quelques milliampères en général, et, dans de rares cas, 100 milliampères.

Le nouveau transformateur universel de la Maison Gaiffe et Cie, à circuits secondaires multiples et réglage continu, permet d'effectuer les transformations de courant nécessaire pour ces applications et, en outre, de faire simultanément de l'éclairage interne ou externe et du galvanocautère, ce qui est précieux en pratique, l'opérateur n'ayant qu'un appareil à régler. L'indépendances de deux circuits secondaires utilisés pour ces deux opérations simultanées est complète, c'est à dire que l'ouverture d'un des circuits, même avec un courant considérable, ne modifie pas pratiquement le courant dans l'autre circuit ; enfin pour le cautère on n'emploie jamais que le minimum de force électromotrice nécessaire. A la rupture d'un cautère qui marche à 2 volts, on n'aura que 2 volts aux électrodes, à 10 ou 15 pour 100 près.

Un troisième circuit secondaire, constitué par la réunion des deux premiers, permet d'obtenir les 24 volts nécessaires pour les courants sinusoïdaux.

L'appareil peut s'appliquer aussi bien dans le cabinet du médecin qu'à la clinique ou chez le malade qui a l'éclairage électrique à courant alternatif ; il suffit en effet de relier le primaire à une douille de lampe par une prise de courant.

En fait, cet appareil est l'équivalent de trois transformateurs dont on pourrait faire varier, spire par spire, les circuits secondaires. On a groupé pour cela deux circuits secondaires à fils très différents sur un même noyau de fer pourvu d'un circuit primaire convenable, et on a appliqué le mode de réglage usité dans les

rhéostats continus, où une manette introduit les fils, spire par spire, dans le circuit.

La figure 1 donne une idée de l'aspect extérieur de l'appareil, qui a figuré pour la première fois à l'Exposition de la Société internationale des électriciens il y a deux mois

Le noyau de fer, en forme d'anneau circulaire, est composé de disques de tôle découpés. Le circuit primaire est enroulé directement dessus, à la manière ordinaire et relié aux bornes 1, 2 par des fils fusibles et un interrupteur.

Le circuit secondaire est composé de deux parties distinctes. Un premier circuit, en très gros fil S^1, a un nombre de tours tel que la tension en circuit ouvert soit, par exemple, de 8 volts, et chaque spire fait varier cette tension de 0,2 volt environ.

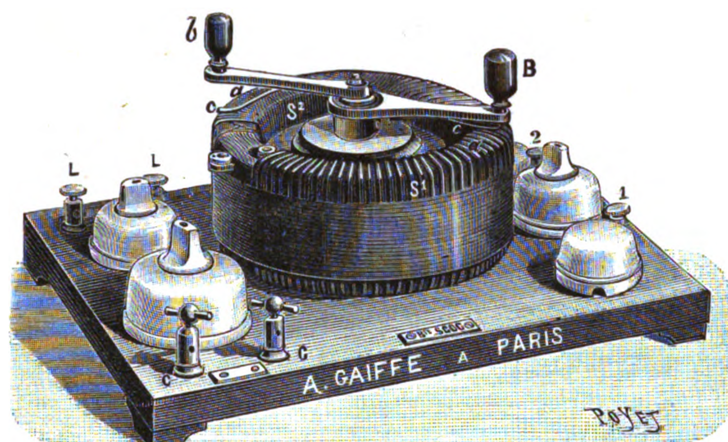


Fig. 1. — Transformateur universel pour courants alternatifs

Ce premier circuit secondaire ou circuit de cautère est bobiné sur une partie seulement du noyau, la moitié environ.

Sur la partie supérieure, en *a*, le fil est dénudé et la manette B avec le ressort C qui est reliée à la seconde borne C_2 du circuit de cautère, permet de prendre entre les bornes C_1 et C_2 successivement 1, 2, etc., spires, c'est à dire de graduer la tension suivant le cautère employé, de manière à pouvoir dans tous les cas, l'amener à la température voulue.

Sur le reste du noyau, on a bobiné un second circuit S^2 en fil beaucoup plus fin et avec un nombre de tours plus grand, de manière à avoir, par exemple, 16 volts entre les extrémités de ce fil, dont le commencement est relié à la dernière spire de gros fil, et dont l'extrémité finale est reliée à la borne L_1. L'autre borne L_2 de ce circuit d'éclairage est reliée à la seconde manette *b* pourvue du frotteur *c*, qui prend également le contact sur la partie dénudée des fils S^2 qui, par un artifice de construction, sont ramenés à la même hauteur que les fils S^1. On peut sur ce second circuit obtenir des voltages variables de 0 à 16 volts pour les diverses lampes employées, et on peut amener celles-ci à l'incandescence voulue par degrés insensibles.

Enfin, en se reliant aux bornes L_1 et L_2, et en écartant progressivement la petite manette *b*, on peut graduer des volts par dugrés insensibles de 0 à 24 volts (dans l'exemple choisi), ce qui permet de faire la voltaïsation sinususoïdale dans tous les cas. Un cran d'arrêt limite la course de la manette B de cautère au gros fil seulement, autrement on risquerait de brûler le fil fin secondaire.

L'appareil est complété par deux interrup-

teurs permettant de rompre indépendamment le circuit de cautère et celui d'éclairage.

On peut signaler, en passant, la grande économie du système, bien que la question de la dépense de courant soit secondaire dans les opérations médicales; ainsi, un cautère de 30 ampères, demandant 6 volts, n'entraînerait qu'une dépense de 2,5 ampères environ dans le circuit primaire, soit 2,7 kw environ.

L'oubli accidentel du circuit primaire sur la canalisation n'aurait aucun inconvénient sérieux, car le courant à vide n'est que de 0,19 ampère.

Nous avons dit que la réaction des deux circuits était insignifiante; on a trouvé, en effet, que dans des conditions très défavorables, soit à la suppression brusque de 20 ampères dans le circuit complet de cautère (160 watts), la tension dans le circuit d'éclairage ne variait que de 15 à 14 volts, soit 7 o/o environ, ce qui n'offre oucun danger pour des lampes. même poussées.

Le petit tableau suivant montre dans quelles limites se règle le circuit de cautère.

Courant primaire	Courant secondaire	Volts aux bornes
0,19	0	8,2
0,78	7,5	7,5
1,33	15	7,2
1,86	20	6,8
2,50	30	6,0

Le lecteur qui est au courant des transformateurs pourra se demander ce qui se passe lorsqu'une des manettes met une spire en court circuit? Dans le cas du gros fil, la théorie montre que le courant en court-circuit devrait atteindre environ 400 ampères; l'échauffement produit par ce courant serait inadmissible, mais il se trouve que la résistance de contact est telle par rapport à celle d'une spire que le courant est réduit à 60 ampères environ. L'échauffement correspondant est parfaitement admissible; la réaction inductive de ce courant à l'ouverture ou à la fermetre du court-circuit par la manette ne produit qu'une variation à peine perceptible du courant dans les circuits d'utilisation.

En terminant, ajoutons qu'un appareil du même genre peut rendre des services pour l'étalonnage des ampèremètres en le complétant par un rhéostat approprié.

Quelques expériences sur les transformateurs à décalage, par G. Ferraris et R. Arno.

Les transformateurs à décalage, dont nous avons décrit l'emploi dans un précédent article [1], sont des appareils qui, avec un courant primaire donné, produisent un courant secondaire, lequel, tout en ayant la tension et l'intensité voulues, présente une différence de phase très sensible, soit de 90° ou autre, relativement au courant secondaire qu'on aurait d'un transformateur ordinaire.

Rappelons que ces appareils comprennent : 1° deux bobines fixes l'une primaire et l'autre secondaire, dont les nombres de spires sont calculés d'après le rapport de transformation voulu, et qui sont disposées l'une par rapport à l'autre comme les deux bobines d'un moteur asynchrone biphasé, de manière que leur induction mutuelle soit égale à zéro; 2° une armature fermée en court circuit sur elle-même maintenue en rotation par le courant primaire.

L'induction mutuelle des deux spires étant égale à zéro, le flux d'induction magnétique engendré par le courant primaire ne traverse pas l'enroulement secondaire; mais par contre les deux spires se trouvent dans un champ magnétique tournant engendré par l'armature. C'est grâce à ce champ, qui tourne avec une vitesse correspondant à la fréquence du courant fourni, que se produisent, dans les deux spires, des forces électromotrices présentant entre elles un décalage de phase de 90°, leur rapport dépendant du rapport du nombre de spires des enroulements.

Le transformateur à décalage peut être considéré comme formé de deux transformateurs; l'armature représente l'enroulement secondaire de l'un et l'enroulement primaire

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 28; 4 juillet 1896.

de l'autre. L'enroulement primaire du premier de ces transformateurs et le secondaire du deuxième deviennent respectivement les enroulements primaire et secondaire du transformateur à décalage.

Dans un transformateur ordinaire, le rapport du nombre des spires des enroulements primaire et secondaire est égal au rapport de transformation de l'appareil multiplié par un facteur k inférieur à l'unité et dépendant du circuit magnétique du transformateur et de la résistance ohmique des deux enroulements. Il en est de même pour un transformateur à décalage; mais les observations précédentes démontrent clairement la nécessité de calculer autrement le facteur k d'un tel transformateur.

Ce facteur, en effet, dépend non seulement des circuits magnétiques et de la résistance ohmique des enroulements des deux transformateurs, en supposant l'appareil décomposé, mais aussi de la vitesse de rotation de l'armature qui, comme la vitesse de celle d'un moteur asynchrone monophasé, est toujours quelque peu inférieure à la vitesse du synchronisme. Dans quelques expériences que nous avons faites sur des transformateurs à décalage d'une capacité de 1 à 4 kw, nous avons obtenu des valeurs de k comprises entre 0,8 et 0,7.

Un transformateur à décalage se calcule donc, relativement à son rapport de transformation, comme un double transformateur ordinaire, en ayant soin toutefois de tenir compte de l'asynchronisme de l'armature, qui donne lieu à une diminution dans la valeur du flux d'induction du champ tournant, et de compenser cette diminution en augmentant le nombre de spires dans l'enroulement secondaire.

Dans un transformateur ordinaire on sait que le décalage de phase entre le courant primaire et le courant secondaire varie de 0° à 90° suivant les valeurs d'une résistance R sans inductance placée dans le circuit de l'enroulement secondaire; or ce décalage est peu éloignée de 90° quand la résistance R est assez considérable et est proche de 0° si au contraire la résistance est très faible.

Dans un transformateur à décalage, au contraire, la différence de phase n'est pas appréciable quand la résistance R est trés grande, et est proche de 90° quand R est très petite. En d'autres termes, si nous diminuons la résistance ohmique du circuit secondaire, et augmentons l'intensité du courant secondaire d'un transformateur à décalage, le décalage de phase entre ce courant et le courant primaire croîtra de 0° à 90°, tandis que si nous procédions de même avec un transformateur ordinaire ce décalage décroitrait entre les mêmes limites.

Nous avons pu nous rendre compte de ce qui précéde en expérimentant sur un transformateur à décalage de 4 kilowatts intercalé dans un circuit présentant entre les conducteurs une différence de potentiel efficace égale à 110 volts avec 42 fréquences. La résistance variable, privée d'inductance et intercalée dans le circuit de l'enroulement secondaire de l'appareil, était formée par un groupe de lampes à incandescence. Les valeurs angulaires des décalages qui sont indiquées dans le tableau suivant, ont été obtenues par la méthode des trois électrodynamomètres, mesurant dans chaque expérience les valeurs efficaces I_1 et I_2 de l'intensité des deux courants et le produit $I_1 I_2 \cos \varphi$.

N°	I_1	I_2	$I_1 I_2 \cos \varphi$	$I_1 I_2$	$\cos \varphi = \frac{I_1 I_2 \cos \varphi}{I_1 I_2}$	$\varphi°$
1	27,20	9,48	194,60	257,86	0,755	40° 59′
2	36,54	18,72	340,55	684,03	0.498	60° 8′
3	44,95	25,44	418,39	1143,53	0,366	68° 32′
4	53,87	32,04	496,23	1725,99	0,288	73° 16′
5	60,67	36,63	515,69	2221,98	0,232	76° 35′
6	66,06	40,47	505,96	2673,45	0,189	79° 6′
7	71.20	43,26	496,23	3080,11	0,161	80° 44′
8	78,25	47,52	418,39	3737,45	0,112	83° 34
9	84,50	50,20	321,09	4241.90	0,076	85° 3′

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les rayons limites ($\lambda = 0$), par C. Maltézos (1).

« La forme de l'équation (2)

$$\frac{d^2\xi}{dz^2} = \frac{\mathfrak{A}}{az},$$

avec

$$\mathfrak{A} = P_1\left(1 - \frac{P_1}{P_1 + H_1}\right),$$

m'a suggéré de traiter la même question d'une autre manière. Cette équation, en effet, ressemble à celle de la propagation de la chaleur dans une barre très longue, ou de la propagation de l'électricité dans un fil cylindrique, avec perte latérale. D'autre part, on sait que, dans la théorie électromagnétique de la lumière, ξ, dans le cas d'une onde plane, représente ce que Maxwell appelle le *potentiel vecteur*.

« Supposons, pour un instant, que, dans le trajet de ces radiations limites, qu'on prendra comme constituant un tube, le potentiel vecteur ne varie qu'avec z. Le flux, qui passe par la section ω d'abcisse z. est

$$-k\omega\frac{d\xi}{dz},$$

k dépendant de la nature du milieu. Le flux, qui traversera ainsi la section voisine $z + dz$, sera

$$-k\omega\frac{d(\xi + d\xi)}{dz}.$$

» Donc le flux total, qui reste dans un volume de longueur dz, est

$$k\omega\frac{d^2\xi}{dz^2}dz,$$

qui doit être nul ; on aura donc

$$\frac{d^2\xi}{dz^2} = 0, \qquad \text{d'où} \qquad \xi = \xi_0 + az.$$

» Or, dans le cas réel, le potentiel vecteur dans le vide (pour $\lambda = 0$) est constant ; on a donc

$$a = 0$$

» Supposons maintenant que ces perturbations spéciales se propagent dans un milieu absorbant ; cette absorption peut être assimilée à une espèce de diffusion ; elle est, par conséquent, équivalente à un flux dans le milieu ambiant. Comme le flux total doit être nul, il faut que le gain $k\pi\frac{d^2\xi}{dz^2}dz$ soit égal à la perte. Cette perte est proportionnelle ici à ξ et au volume $\omega\,dz$, et non pas à la surface latérale (et c'est en cela que consiste la différence avec les autres cas cités, où la perte est latérale) ; on doit donc avoir

$$k\frac{d^2\xi}{dz^2} = \pi\xi,$$

π dépendant aussi de la nature du milieu.

» Si l'on se rapporte aux problèmes analogues de la propagation de la chaleur ou de l'électricité dans un fil, on voit que le coefficient k est analogue *au pouvoir conducteur* pour la chaleur ou *au pouvoir inducteur spécifique* pour l'électricité, ou enfin à la perméabilité des corps poreux en Hydrodynamique. k est donc ici inversement proportionnel au coefficient d'élasticité spéciale qui naît dans le milieu par cette propagation, qui est égal au rapport P_1 de la force avec le déplacement qui la produit. On a donc

$$k = \frac{1}{P_1}.$$

» D'autre part. π doit avoir aussi une signification électrique, être, par exemple, un pouvoir spécifique de diffusion dans le milieu ou une espèce de conductibilité pour ces radiations. Quoi qu'il en soit, la solution générale compatible avec les conditions du problème est

$$\xi = \xi_0 e^{-z\sqrt{P_1\pi}},$$

et, en la comparant à la solution (5) de ma Note précédente on trouve

$$\pi = 1 - \frac{P_1}{P_1 + H_1} = \frac{H_1}{P_1 + H_1}$$

» On peut donc aussi prendre les radiations limites ($\lambda = 0$) comme un flux électro-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1533 ; séance du 29 juin 1896.

(2) Voir *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1474 et *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 37 ; 4 juillet 1896.

magnétique spécial, par analogie, je le répète, avec les cas cités de la propagation de la chaleur ou de l'électricité dans un fil. »

Sur une variation électrique déterminée dans le nerf acoustique excité par le son, par H. Beauregard et E. Dupuy (1).

Dans le but de déterminer les limites de la sensation auditive chez les animaux, les auteurs se sont servis du courant d'action qui, théoriquement, doit se produire dans le nerf acoustique excité par le son.

Tout d'abord il leur fallait démontrer la possibilité d'enregistrer le courant normal du nerf acoustique sectionné et aussi le courant d'action qui s'y produit lorsqu'il est excité.

A cet effet les auteurs ont employé le galvanomètre universel apériodique de M. d'Arsonval, en se servant de l'échelle micrométrique qui permet d'observer des courants extrêmement faibles. Les expériences ont été faites sur la grenouille et le cobaye de la manière suivante :

La calotte crânienne rapidement enlevée, ainsi qu'une portion du cervelet de manière à découvrir le nerf acoustique du côté choisi pour l'expérimentation, ce nerf est sectionné ; on applique sur l'extrémité coupée une électrode impolarisable (électrode de M. d'Arsonval) et l'autre électrode est placée sur le tympan. Ces électrodes sont reliées au galvanomètre.

Si l'opération a été bien menée, on constate, dès que les électrodes sont en place, l'existence d'un courant qui se traduit par un mouvement continu de l'échelle micrométrique devant le fil vertical immobile qui sert d'index.

Lorsqu'on émet un son aigu dans le voisinage de l'oreille en expérience, on constate aussitôt un courant de sens inverse (courant d'action) produit dans le nerf acoustique ; ce courant se traduit par un arrêt du mouvement de l'échelle micrométrique et un changement de sens du mouvement primitif. L'oscillation ainsi produite a été en moyenne de 3° de l'échelle micrométrique pour le son aigu du sifflet employé. Dès que le son cesse, le courant d'appel du nerf se manifeste de nouveau et l'échelle reprend son mouvement dans le premier sens.

Les résultats de cette étude sont :

1° L'appareil acoustique se fatigue rapidement car les derniers d'une série de sons émis à des intervalles très rapprochés ne produisent plus d'oscillations sensibles.

2° Le courant normal observé est bien un courant qui traverse le nerf car la déviation cesse dès qu'un défaut de contact se produit entre les électrodes et le tympan ou l'extrémité sectionnée du nerf.

3° Ce courant est une manifestation de la vie du nerf acoustique, car il cesse dès que l'animal succombe.

4° La grandeur de l'oscillation électrique du nerf acoustique varie avec la hauteur du son qui arrive à l'oreille. Ainsi tandis qu'on obtient une oscillation de 3° avec le son aigu d'un sifflet, l'oscillation n'est que de 1° avec le diapason normal et est insensible avec un très grand diapason donnant des sons très graves.

Les auteurs se proposent de continuer ces recherches par l'étude de l'influence de l'intensité du son sur l'oscillation.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1565-1568 ; séance du 29 juin.

Sur la réfraction et la diffraction des rayons X, par Gouy (1).

« Dans une Note antérieure (2), j'ai fait connaître le dispositif d'une source linéaire de rayons X, et son application à l'étude de la réfraction. J'ai repris ces expériences avec divers perfectionnements qui portent, soit sur la source elle-même, soit sur les appareils accessoires.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1197, 26 mai 1896. — *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 567 ; 20 juin 1896.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXIII p. 43 ; séance du 6 juin 1896.

» Deux séries ont été faites, la première sur des corps assez transparents, la seconde sur des corps presque opaques, qui ne paraissent pas avoir examinés encore à ce point de vue. Les fils de platine qui portent ombre sur la plaque photographique sont au nombre de 2, chacun muni d'un prisme; leur rectitude est rigoureusement contrôlée. Les mesures de la distance des deux images apprennent si ces distances sont rectilignes. Les fils ont 40μ de diamètre et sont à 2,50 m de la plaque, qui est elle-même à 5 m de la source; dans la seconde série, ces distances ont été réduites au dixième. Les ombres ou images sont assez nettes pour supporter un grossissement de 10 fois, et être mesurées à quelques microns près.

» Les écarts produits par la réfraction ne dépassent pas quelques microns, et l'indice n calculé d'après ces écarts est indiqué si-après:

	Substances	$(n-1)\,10^6$.
Première série	Aluminium....	$-0,46$
	Crown-glass...	$-0,69$
	Ébonite.......	$-0,40$
	Soufre........	$+0,69$
	Cire vierge....	$+0,30$
Seconde série	Flint-glass....	$+7,0$
	Fer..........	$-17,5$
	Zinc..........	$+10,5$

» Pour les corps assez transparents (première série), les déviations observées ne sont que des fractions de seconde, et l'indice excède l'unité de moins de $\frac{1}{1\,000\,000}$. Les écarts sont trop petits pour qu'on puisse en répondre ici; je conclurai donc que la réfraction est insenble, et qu'il faudrait la chercher dans la septième décimale de l'indice.

» Dans la seconde série, les écarts ne dépassent pas non plus les erreurs admissibles, mais l'approximation sus $n-1$ est encore 20 fois moindre.

» Je me suis occupé aussi de la diffraction. Dans les expériences précédentes (première série), la lumière donnerait des ombres extrêmement faibles, et larges de plusieurs centimètres; cette remarque montre que la diffraction est nulle ou peu considérable, comme on le savait déjà. Pour soumettre la question à une épreuve rigoureuse, j'ai étudié l'épanouissement du faisceau passant par une fente étroite.

» Je rapporterai, entre autres, l'expérience suivante: une fente de 44μ de largeur est placée à 2,50 m de la plaque, qui est elle-même à 5 m de la source; l'examen de l'image montre qu'elle occupe presque tout entière une largeur de 110μ à 120μ, ce qui est en dehors étant peu de chose, et assurément moins de $\frac{1}{4}$ de l'intensité maximum.

» Suposons que la diffraction existe comme pour la lumière, et que la longueur d'onde soit 0,005 μ; en calculant les intensités relatives aux divers points, on s'assure que ces nombres définissent une bande bien plus large. Ainsi, en s'arrêtant aux points où l'intensité est $\frac{1}{4}$ du maximum, on aurait une largeur de 340 μ, soit 3 fois l'évaluation précdente.

» Il est donc établi avec certitude que, si la diffraction existe comme pour la lumière, la longueur d'onde des rayons X est considérablement plus petite que 0,005μ, qui représente $\frac{1}{100}$ de la longueur d'onde du vert.

» Rien n'indique du reste qu'il existe une diffr action quelconque, l'excès de largeur de la raie sur la largeur théorique (90 μ) s'expliquant naturellement par les dimensions de la source, le grain du cliché et les petits mouvements de l'appareil pendant la pose de quatre heures. »

Une théorie des rayons X, par Albert A. Michelson (1).

L'auteur commence par faire observer qu'une théorie satisfaisante des rayons X doit expliquer les points suivants :

1er La production des rayons par impulsion électrique à la cathode dans un espace clos suffisamment évacué.

2e La propagation en ligne droite et l'absence d'interférence, de réflexion, de réfraction et de polarisation.

---

(1) *American Journal of science.*

3° L'importance de la densité du milieu comme facteur déterminant dans la transmission des rayons.

4° La production de la fluorescence et d'effets actiniques et l'action sur les corps électrisés.

La théorie des ondes longitudinales ne lui paraît pas satisfaisante pour plusieurs raisons: d'abord tant qu'il ne sera pas prouvé qu'une décharge oscillatoire est indispensable pour la production des rayons X il ne peut y avoir aucune raison de supposer que ces rayons sont de nature périodique ; l'absence d'interférence, de réflexion et de réfraction est aussi une difficulté très grande dans cette manière de voir.

La théorie du bombardement ne lui semble pas meilleure. Comment, dit-il, expliquer le passage des particules électrisées du gaz résiduel (ou des électrodes) à travers les parois du tube ? Car si le verre est perméable à ces particules en vertu de leurs vitesses relativement très grandes, pourquoi ne le serait-il pas encore, quoique à un moindre degré, à ces mêmes particules animées de vitesses plus faibles ? Or le fait qu'il est possible de conserver pendant des années un vide presque parfait dans un tube prouve l'imperméabilité du verre dans ce dernier cas.

Aussi l'auteur propose-t-il une troisième théorie qu'il appelle théorie de l'« éther-vortex » et qu'il expose en ses termes :

« Admettons que les rayons X soient des vortex d'un milieu intermoléculaire (provisoirement l'éther). Ces vortex sont produits à la surface de la cathode par la charge négative qui les force à passer entre les molécules de cette cathode.

» Examinons alors les conditions rappelées ci-dessus. Suivant cette théorie une décharge oscillatoire, puisqu'elle peut être considérée comme une série d'impulsions séparées, n'est pas indispensable pour la production des vortex. Ces vortex étant chassés de la surface de la cathode par la charge négative, l'effet de la charge positive de l'anode sera de les diriger vers celle-ci. Delà l'explication de la manifestation des rayons à la cathode seulement.

» L'une des plus embarrassantes propriétés des rayons X est que, tandis qu'ils peuvent traverser l'air à la pression atmosphérique en dehors de l'espace clos où ils ont été produits, ils ne peuvent même atteindre les parois limitant cet espace, à moins que le degré de vide ne soit très élevé. Cette difficulté se trouve facilement surmontée si l'on remarque que pour que des vortex éthériques résultent d'une impulsion électrique il faut nécessairement que cette impulsion leur soit communiquée et ne pas se trouver dissipée dans l'échange de molécules électrisées qui accomgne, ou plutôt produit, la décharge aux pressions modérées ou élevées. Or lorsque le degré de vide augmente les molécules capables d'effectuer cette décharge avec une rapidité suffisante deviennent de plus en plus rares et il se produit une division de l'énergie de l'impulsion électrique entre les molécules électrisées et les vortex éthériques ; il arrive enfin un moment où toute l'énergie de la décharge est utilisée dans ces derniers.

» La raison de la non-observation des rayons X dans les conditions ordinaires ne consiste pas en ce que ces rayons ne peuvent atteindre ou ne traversent pas les parois de l'enveloppe, mais en ce qu'il ne se forment pas du tout. La propagation des rayons en ligne droite, l'absence de phénomènes d'interférence, de réflexion, de réfraction et de polarisation découlent des propriétés des vortex et de de l'absence quelque chose d'analogue à un front d'onde. Le passage d'un vortex éthérique à travers une masse de matière peut être comparé au passage d'un anneau de fumée à travers un écran ou une série d'écrans en toile métallique ; et, de même que le mouvement de l'anneau est d'autant plus géné que le diamètre des fils et leur nombre par unité de volume sont plus grands, le milieu traversé par des rayons X dissipera d'autant plus vite l'énergie des vortex éthériques que le nombre et la grandeur des molécules, c'est à dire la densité, seront plus grands.

» La production de la fluorescence et des

effets actiniques, et la dissipation des charges électriques par la lumière (qui est un mouvement de l'éther), rendent probable que des effets semblables (et non, peut être, identiques) puissent être produits par le mouvement des vortex éthériques.

» Le professeur J. J. Thomson a mesuré la vitesse des rayons cathodiques et a obtenu un nombre si éloigné de celui qui exprime la vitesse de la lumière qu'il exclut complètement l'idée de quelque relation entre ces deux phénomènes. En supposant que ce résultat puisse être appliqué aux rayons X, l'analogie avec les propriétés des anneaux de fumée nous permet de l'expliquer. Lénard a montré que les rayons cathodiques ont des propriétés qui dépendent beaucoup de leur mode de production. Il semble également que leurs vitesses dépendent pour beaucoup du potentiel et de la soudaineté de l'impulsion électrique. Or s'il était montré qu'il en est ainsi pour les rayons X, il en résulterait une confirmation de la théorie proposée. »

En terminant, l'auteur avoue que les résultats expérimentaux qu'il rappelle à l'appui de ses considérations ne sont qu'à peine suffisants pour ériger celles ci en une théorie satisfaisante, mais il pense qu'elles peuvent servir de guide dans des expériences ultérieures. Sur le premier point nous partageons les idées de l'auteur, mais il nous a néanmoins paru intéressant, après que plusieurs savants sont parvenus à expliquer les phénomènes lumineux et la plupart des phénomènes électriques par un mouvement tourbillonnaire de l'éther, de publier ces considérations encore embryonnaires.

J. B.

Sur un tube de Crookes, par H. Pflaum (¹).

L'auteur décrit les phénomènes présentés par une tube de Crookes et qui diffèrent un peu des phénomènes qu'on observe habituellement. Le tube dont il s'agit porte une cathode concave K et trois anodes A B C (fig. 1). Quand il est excité, quelle que soit l'anode utilisée, on voit des stratifications d'une lumière gris jaunâtre s'étendant de l'anode à la cathode, tandis que celle-ci est entièrement recouverte d'une lueur blanc bleuâtre. La fluorescence du verre n'est pas plus intense sur la paroi qui fait face à la cathode, que sur les autres points.

En y regardant attentivement, on observe encore d'autres détails. Immédiatement, sur la concavité de la cathode, on aperçoit une couche de lumière blanche épaisse d'environ

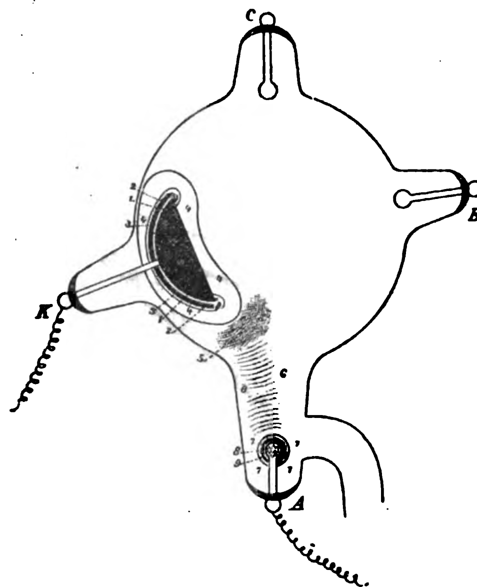


Fig. 1

0,8 mm (1), visible encore derrière la cathode ; puis au-dessus, une région sombre à peu près de même épaisseur (2), une autre couche blanche de 1 à 1 mm 1/2 (3) et enfin une lumière plus pâle s'étendant en arrière de la cathode jusqu'à la paroi de verre et jusqu'à un centimètre à peu près en avant, en s'effaçant progressivement. A partir de là, dans la direction de l'anode, on voit une région très obscure (sans doute la région de séparation de E. Wiedeman), puis 12 à 15 nuées lumineuses gris jaunâtre, concaves du côté de l'anode et vibrant énergiquement : ces nuées sont d'épaisseur inégale et se suivent à des intervalles irréguliers : elles sont limitées sur leurs bords par une lueur violet foncé très faible. Les plus

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 443.

voisines de l'anode sont très serrées et semblent se confondre dans une lueur immobile gris pâle qui s'étend jusqu'à l'anode. L'anode est entourée d'une région plus brillante (8) et d'une autre obscure (9).

Immédiatement près de sa surface se trouve une auréole blanche très brillante, mais qui paraît flottante.

Si on prend K comme anode et un des pôles A B C comme cathode, on distingue encore au voisinage de K les régions (1) à (4); mais a la suite de la région de séparation, commence une lumière continue, qui devient de plus en plus brillante en s'approchant de la cathode, autour de celle-ci se remarquent comme tout à l'heure autour de l'anode une auréole brillante flottante, puis un cercle obscur et un autre cercle brillant.

On ne voit pas de stratifications et la fluorescence est la même que dans le cas précédent.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Elettricita e Magnetismo, par M. Rinaldo Ferrini, seconde édition ; *Ulrico Hoepli*, éditeur, Milan.

La première édition du traité de M. Ferrini date de 1878, l'édition actuelle est donc beaucoup plus un livre nouveau que le résultat d'un épuisement de tirage.

Comme tous les traités du savant professeur de l'Institut technique de Milan, celui-ci est écrit avec beaucoup de clarté et constitue un ensemble de leçons élémentaires fort bien ordonnées.

Dans sa préface, l'auteur s'élève avec raison contre quelques barbarismes électriques ; en particulier il se demande pourquoi on a substitué le mot volt à celui de son illustre compatriote, de même pour Faraday ; d'un autre côté il nous prévient qu'il est décidé à prendre une sage mesure contre l'introduction des mots anglais, en autres, dans le langage technique. Pourquoi parler, dit-il, de *self-induction* au lieu d'auto-induction ; de voltage, au lieu de pression électrique ; de dynamo-shunt, au lieu de dynamo en dérivation. Nous ne pouvons que l'approuver en espérant que l'on en fasse autant chez nous.

L'ouvrage est divisé en cinq chapitres :

Electrostatique ;
Courant continu et électrolyse ;
Induction magnétique ;
Courants d'induction ;
Applications.

Le premier débute par quelques considérations sur l'énergie électrique, potentielle ou cinétique et sur ses facteurs. L'auteur aborde ensuite quelques théorèmes généraux, puis la question des condensateurs, le calcul de leur capacité dans des cas simples et leurs modes de groupement ; il termine par quelques notions d'électrométrie.

Au second, nous voyons défiler l'étude des piles et des accumulateurs, puis les lois de l'électrolyse et les applications industrielles de cette dernière. Viennent ensuite les lois des courants dérivés et les définitions des unités électriques, ohm, volt, ampère, joule, watt, etc.

Dans le chapitre troisième, après quelques considérations sur les unités et le système C.G.S., M. Ferrini s'occupe de l'induction magnétique, des champs produits par les courants, puis du circuit magnétique et de l'hystérésis ainsi que des lois relatives aux pertes d'énergie consommée par hystérésis et courants de Foucault. La question des appareils de mesure : voltmètre, ampèremètre, électrodynamomètre, wattmètre, est également comprise dans ce chapitre.

Le chapitre suivant, après l'exposé des lois de Lenz et des règles de Lord Kelvin et de Fleming, donne tout d'abord avec détails la description des appareils de mesure des flux, de la perméabilité magnétique et de l'hystérésis. L'auteur aborde ensuite l'étude théorique des courants alternatifs, ainsi que des effets de la self-induction et de la capacité combinées, étude inspirée du traité de MM. Bedell et Crehore. La représentation graphique des fonctions sinusoïdales et les métho-

des de mesures de la self-induction et de l'induction mutuelle terminent ce chapitre.

Au chapitre suivant l'auteur passe successivement en revue les applications des théories exposées dans les chapitres précédents. Ce sont d'abord les dynamos à courant continu, puis les alternateurs monophasé et polyphasé. Les moteurs à courant continu et à courants alternatifs viennent ensuite. En dernier lieu, sont traités les transformateurs et quelques notions sur la télégraphie, la téléphonie et les parafoudres.

Toute la partie théorique est présentée sous une forme mathématique très rigoureuse en même temps que simple. La question des courants alternatifs est traitée avec beaucoup plus de développements que dans les traités analogues d'électricité générale.

En somme, le nouveau livre de M. Ferrini joint à celui plus spécial d'un même auteur, *Recenti progressi nell' applicazione dell' Elettricita*, constitue un des meilleurs ouvrages italiens et des plus complets. Aussi le recommanderons-nous à ceux de nos lecteurs qui connaissent la langue italienne.

F. GUILBERT.

Les automobiles, par D. Farman, ingénieur mécanicien Un volume petit in 8° de 320 pages, avec 112 figures. *J. Fritsch*, éditeur, 30 rue du Dragon, Paris.

Le développement qu'a pris l'automobilisme depuis quelques années nécessitait la publication d'un ouvrage en marquant les phases successives et donnant l'état actuel de la question. C'est dans ce but qu'a été écrit le volume que la maison Fritsch vient de publier et, ainsi que le dit le Président de l'*Automobile-Club* de France, le baron de Zuylen de Nyevelt, dans la préface, il n'est pas douteux qu'il recevra le meilleur accueil de tous ceux qui s'intéressent aux véhicules de l'avenir.

Cet ouvrage comprend deux parties. Dans l'une l'auteur a donné sous une forme aussi condensée que possible les principes du fonctionnement des moteurs à vapeur, à pétrole, à air comprimé et électriques que l'on utilise dans les automobiles ; l'autre renferme la description de divers systèmes traction à vapeur (Serpollet, Le Blant, de Dion et Bouton, etc), à air comprimé (Popp, Conti), à pétrole (Panhard et Levassor, Peugeot, Roger, Duryca, Lepape, etc, etc) et enfin la description de quelques voitures électriques. L'auteur ayant écarté de son sujet la traction électrique sur voie ferrée, les applications de l'électricité à l'automobilisme sont maigrement représentées et nous ne trouvons que la voiture Jeantaud, les automobiles Morris et Salom qui ont pris part au Concours de Chicago et dont nous avons déjà parlé (*L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 144 et t. VII, p. 431) et enfin la voiture électrique de M. Bogard. Néanmoins la lecture de cet ouvrage ne peut manquer d'intéresser les électriciens, n'aurait-elle pour effet que de leur indiquer les desiderata à remplir.

J. B.

Ouvrages reçus

Jahrbuch der Elektrochemie; Berichte uber die Fortschritte des Jahres 1895, par D[r] W. NERNST et D[r] W. BORCHERS. Un vol. in 8° de 300 pages. *Wilhelm Knapp*, éditeur à Halle; prix 2 marks.

Die offentliche Beleuchtung von Berlin, par le D[r] H. LUX. Un vol. gr. in 8° de 468 pages et 256 figures et gravures. *Fischer*, éditeur, à Berlin; prix, broché 18 marks, relié 20 marks.

CHRONIQUE

Acherain (Tyrol). — Transport d'énergie. — La première application de l'énergie électrique à l'industrie du laminage a été faite et fonctionne depuis deux mois dans les établissements de laminage de cuivre de M. Kulmiz à Acherain. La force motrice était auparavant fournie par les eaux d'une rivière, l'Ache, près de laquelle l'usine est construite et qui pendant l'hiver était fréquemment congelée, occasionnant de ce chef autant d'interruption de travail. Pour remédier à cet inconvénient on a construit à 2,5 kilomètres en amont de l'usine une station hydraulique équipée avec une turbine de 200 chevaux système Ganz couplée à un générateur à courant triphasé de 160 chevaux.

Cette énergie est transmise aux ateliers et utilisée en partie par deux moteurs polyphasés de 60 chevaux chacun ; le surplus de l'énergie et employé pour l'éclairage des ateliers et d'une partie de la ville. Les résultats de cette application ont été excellents ; l'installation fonctionne nuit et jour sans aucune variation.

Budapest. — Traction. — On est sur le point de construire à Budapest, un chemin de fer électrique reliant cette ville à Fiume en desservant les localités de Balaton-Fured et Csakathurn.

Köln. — Transport d'énergie. — Les autorités locales de Köln viennent d'adopter le projet d'installation d'une station centrale dont la production sera employée en majeure partie comme force motrice. Les travaux seront commencés le 11 juillet. La construction et l'équipement de la station hydraulique couteront environ 118 770 francs ; les machines et appareils électriques 48 840 francs et la canalisation 82 140 fr., soit en tout 249 750 fr., sans compter, bien entendu, les appareils d'utilisation dont le nombre n'est pas encore connu.

Lima (Pérou). — Éclairage et force motrice. — La South American Light, Power and Traction Company de Lima vient de passer un contrat avec la General Electric Company de New-York pour l'équipement d'une station centrale qui, utilisant une puissante chute d'eau située à environ 17 km de Lima, pourra fournir une puissance de 5 000 chevaux en énergie électrique qui sera transmise pour être utilisée par les tramways, l'éclairage public et privé et enfin comme force motrice dans les nombreuses fabriques des environs de la ville.

Londres.— Éclairage. — A la suite de pourparlers entre les représentants de la Compagnie Thomson Houston et la Commission chargée du service de l'éclairage de Londres, pourparlers qui durèrent de 1885 à 1889, cette dernière partagea la Cité en trois districts et concéda le plus important, celui de l'Est, à la compagnie Thomson Houston. L'année suivante, le Parlement ratifia le traité de la Commission. Le 9 février 1891, une Société fut fondée sous le nom de « City of London Electric Lighting, Pioneer Company » et en quelques mois érigea une station provisoire qui éclaira les principales rues du district. Cette Société primitive porta son capital à 800 000 livres et prit le nom de « City of London Electric Lighting Company Limited ».

Le projet Thomson Houston comportait deux stations, l'une de 4 000 kilowatts destinée à l'éclairage privé, l'autre de 450 kilowatts affectée au service public. Cet ensemble est près d'être achevé. L'usine consacrée à l'éclairage privé est située à Bankside, sur la rive sud de la Tamise, à peu près en face de l'église Saint-Paul, vis-à-vis le district Est. Ce district, est comme nous l'avons dit un des plus importants, parce qu'il renferme les deux stations de chemins de fer de Cannon Street, la Banque, le Royal Exchange ; il est traversé longitudinalement par Gracechurch Street et Bishopsgate Street et transversalement par Cornhill, Leadenhall Street, Lombard Street, Fenchurch Street, les voies les plus fréquentées.

L'installation générale comprend dix groupes distincts, dont huit de 400 kilowatts et deux de 350 kilowatts.

Les alternateurs du type Thomson-Houston ont les constantes suivantes :

Puissance.........	400 kilowatts.
Nombre de pôles..	40.
Vitesse angulaire..	300 tours par minute.
Différence de potentiel aux bornes à pleine charge..	2 200 volts.
Intensité à pleine charge..........	182 ampères.
Fréquence........	100 périodes par seconde.

Ces alternateurs sont à inducteurs fixes et induit mobile du type cuirassé ; les bobines sont encastrées dans les rainures en forme de queue d'aronde pratiquées dans les tôles de l'induit, et maintenues en position au moyen de coins en bois ; elles ne peuvent donc être détériorées par aucune action extérieure ; en outre, les vibrations sont réduites au minimum. Les extrémités de l'enroulement aboutissent à deux bagues placées à chaque extrémité de l'arbre et montées sur un solide noyau d'ébonite.

Les paliers sont du type autograisseur et à enveloppe extérieure sphérique permettant un alignement parfait. Les inducteurs sont constitués par des bobines enroulées sur une carcasse cylindrique ; elles sont toutes interchangeables et facilement démontables.

Chaque alternateur est couplé à un moteur à vapeur Willans à triple expansion, d'une puissance maxima indiquée de 700 chevaux. Une valve permet de supprimer le troisième cylindre et c'es

ainsi qu'ils marcheront jusqu'à ce que l'installation de condensation soit achevée.

Deux groupes plus petits, de 350 kilowatts chacun sont un peu différents des précédents. Chaque alternateur est commandé par deux moteurs à vapeur, un à chaque bout. Les dimensions des alternateurs sont les mêmes, mais dans ces machines, les premières installées, les inducteurs n'étaient pas laminés, et leur fonctionnement a suggéré quelques perfectionnements qui ont été apportés aux autres alternateurs.

L'idée d'employer deux machines à vapeur par alternateur était d'augmenter le rendement de l'ensemble aux faibles charges, en débrayant l'une des machines à vapeur.

Les alternateurs de 350 kilowatts et quelques-uns de 400 kilowatts sont excités par deux dynamos de 25 kilowatts accouplées directement avec une machine type pilon. Cinq autres alternateurs ont leur propre excitatrice montée en bout; une seule excitatrice peut desservir au moins deux alternateurs.

Le tableau de distribution se compose en réalité de deux tableaux accolés dos à dos; celui qui fait face à la salle des machines contrôle les alternateurs et leurs excitatrices, l'autre commande les feeders à haute tension desservant les sous-stations de trensformateurs. La totalité du tableau est montée d'après le système unipolaire, parce que l'un des pôles des alternateurs et des circuits est en communication permanente avec la terre. Chaque alternateur est relié par un câble concentrique au tableau; le câble extérieur est réuni à une barre omnibus en communication avec la terre, et le câble intérieur est relié par un interrupteur et un ampèremètre à l'autre barre de distribution. Le tableau est divisé en deux moitiés qui peuvent être séparées par de puissants interrupteurs.

Chaque alternateur est muni d'un indicateur de synchronisme qui permet de grouper les machines en parallèle dès qu'elles sont en phase.

En câble réunit cette station avec la station Brush qui dessert un autre quartier de la Cité, et dans maintes occasions la station Thomson-Houston est venue au secours de la station Brush et a fonctionné en parallèle avec elle. La station Thomson a eu aussi souvent à marcher en parallèle avec la station provisoire établie à 1 500 m, à Wool Quay, et cela sans la moindre difficulté.

La totalité de l'éclairage public et une petite fraction de l'éclairage privé sont fournies par une station de moindre importance, qui est celle érigée par la Compagnie provisoire, située à Wool Quay, dans la Cité, entre la Tour de Londres et le bâtiment des douanes. Cette station comporte deux alternateurs de 150 kilowatts commandés par cordes et six machines à arc de 50 lampes 10 ampères. Cette station est en service depuis quatre ans et a toujours fonctionné de la manière la plus irréprochable.

Le courant à haute tension des deux stations est amené à des sous-stations de transformateurs par des câbles concentriques isolés au papier et recouverts de plomb. Ces câbles traversent la Tamise dans des tubes de fer suivant deux directions, puis se subdivisent et se dirigent vers les sous-stations.

Chaque sous-station est reliée aux quatre autres les plus rapprochées par des câbles à haute tension de façon à pouvoir se prêter un mutuel secours, mais les réseaux secondaires sont indépendants. La distribution à basse tension est faite à trois fils en câbles concentriques isolés au papier et protégés par un tube de plomb. Ces câbles sont disposés, soit dans des caniveaux en bitume, soit dans des tuyaux de fer.

Les sous-stations sont au nombre de 9 dans le district de l'Est et comprendront 210 transformateurs de 30 kilowatts faisant un total de 6300 kilowatts.

Dans la plupart des cas, les sous-stations sont des chambres en briques établies sous la chaussée. Les transformateurs reposent au fond de cette chambre sur un châssis de bois; au-dessus se trouve un plancher pourvu de trappes disposées chacune au-dessus d'un transformateur, de sorte que chaque appareil peut être retiré et mis en place très facilement.

Les interrupteurs et appareils à haute tension sont situés à la partie supérieure du tableau; ceux à basse tension sont immédiatement au-dessous, mais en sont parfaitement isolés.

Toutes les manœuvres se font à la main et une seule personne suffit pour trois ou quatre stations qu'elle visite à de fréquents intervalles.

Gandia et Alcoy (Espagne). — Transmission d'énergie. — Une importante station hydraulique pour la production de l'énergie électrique vient d'être achevée et fonctionne d'une façon satisfaisante depuis sa mise en exploitation.

Cette nouvelle station qui s'ajoute au nombre déjà considérable des stations centrales en Espagne, est située au bas d'une chaîne de montagnes qui sépare les deux villes de Gandia et d'Alcoy (pro-

vince de Valence) à environ 25 kilomètres de chacune des deux villes auxquelles elle fournit l'énergie électrique.

L'énergie hydraulique est fournie par les eaux du Serpio qui est une petite rivière sinueuse contournant le bas des montagnes. Ce cours d'eau ne produisant sur son parcours aucune chute naturelle on a construit sur le flanc de la montagne un canal ayant 5 m² de section transversale qui va, à deux kilomètres du point où est érigée la station, chercherles eaux de la rivière à l'endroit où son niveau est le plus élevé et les amène à un déversoir muni d'un barrage qui permet d'obtenir une chute effective de 32 mètres de hauteur avec un débit de 142 m³ par minute.

La station hydraulique située au dessous du réservoir possède deux turbines de 150 chevaux chacune. L'eau est amenée aux turbines par de gros tuyaux en fonte qui sont adaptés au réservoir et viennent aboutir aux puits à turbines. Ces dernières sont à arbres horizontaux, les roues de chacune d'elles ont 0,65 m de diamètre. La régulation est obtenue à l'aide de tiges-guides. A cet effet un régulateur à force centrifuge agit sur un piston hydraulique qui fait mouvoir les tiges-guides.

Des alternateurs Siemens de 110 kw sont directement accouplés aux turbines et produisent des courants monophasés à 6 500 volts et 50 périodes par seconde. Les excitatrices sont entraînées directement par le même arbre. La vitesse de rotation de chaque couple générateur est de 375 tours par minute.

Le tableau de distribution comporte tous les appareils employés avec les courants de haute tension, plus deux synchroniseurs pour le couplage en parallèle des alternateurs et des transformateurs.

La transmission se compose de câbles en cuivre nu fixés à des isolateurs à l'huile portés par des poteaux en bois lesquels reçoivent également les fils téléphoniques reliant la station génératrice aux deux sous-stations. Le parcours des lignes aériennes est des plus accidentés à travers les montagnes qu'elles ont à franchir avant d'aboutir aux stations transformatrices. La perte en ligne dépasse 14 pour 100 sur la ligne d'Alcoy. Cette ville est éloignée de 30,7 kilomètres de la station génératrice. La première transformation du courant s'opère dans une sous-station située à quelque distance de la ville, conformément aux règlements imposés par les autorités locales, règlements qui interdisent la circulation du courant à haute tension dans l'intérieur de la ville. Cette station comprend 5 transormateurs du type Siemens d'une capacité individuelle de 40 kilowatts et qui ramènent la tension à 2000 volts. Le courant, après avoir traversé les appareils de mesure d'un tableau de distribution analogue à celui de la station génératrice est dirigé par des câbles aériens isolés à une deuxième sous-station située à peu près au centre de la ville et qui fait l'office de la distribution générale dans tous les points du réseau après avoir, au préalable, ramené la tension de 2000 volts à 115 pour alimenter des lampes de 110 volts. Les moteurs installés pour différents usages privés sont alimentés par des câbles dérivant du circuit primaire par l'intermédiaire de transformateurs appropriés.

Le système de distribution de l'énergie à la ville de Gandia est en tous points semblable à celui d'Alcoy à l'exception que la première station transformatrice ne possède que deux transformateurs de 30 kilowatts chacun. La quantité d'énergie fournie à cette ville est moindre que celle fournie à Alcoy. La perte en ligne n'est que de 10 pour 100 en raison de la distance moins considérable qui sépare Gandia de l'usine génératrice et qui n'est que de 20 kilomètres.

Wolverhampton (*Angleterre*). — *Éclairage.* — Après de nombreuses discussions et bien des tâtonnements relativement au système de distribution à adopter pour l'éclairage électrique de la ville de Wolverhampton (Angleterre) la question est aujourd'hui résolue d'une façon définitive.

Déjà en juin 1892, M. W. H. Preece présentait aux autorités municipales, un projet concernant l'établissement d'une station centrale pouvant, au début, alimenter 10 000 lampes jusqu'à extension de 50 000 ; le projet fut adopté, le terrain sur lequel on devait ériger la station fut acheté, mais tout en resta là ; plusieurs compagnies d'éclairage s'étant ensuite offertes avec des projets différents pour l'éclairage soit au courant alternatif soit au courant continu, le Conseil Municipal s'est enfin décidé à adopter celui de la Corporation Construction Company. La station centrale construite sur le terrain qui avait été acquis en 1892 fut solennellement inaugurée et l'exploitation ouverte par Lord Kelvin, en janvier 1895.

Le système de distribution qui a été adopté a beaucoup d'analogie avec celui d'Oxford qui est appelé communément « le système d'Oxford ». Or

les particularités qui distinguent ce dernier système des autres qui, comme lui, emploient du courant continu à haute tension, consistent : 1° dans l'emploi de transformateurs rotatifs intercalés entre les circuits de haute et basse tension et dont la capacité étant plus grande que celle d'une batterie d'accumulateurs, permet de maintenir la tension voulue aux heures de pleine charge ; 2° à alimenter le réseau au moyen d'une batterie d'accumulateurs aux heures de faible charge ; 3° à monter en série toutes les lampes à arc de l'éclairage des rues sur les mêmes câbles à haute tension que ceux où sont les transformateurs ; et 4° à pouvoir contrôler toutes les sous-stations de transformation d'une sous-station centrale.

A Wolverhampton, la station génératrice se trouve située à une distance assez considérable du réseau. Les trois sous-stations, parmi lesquelles celle du Town Hall joue le rôle de station centrale, alimentent le même réseau de conducteurs principaux de basse tension mais en un point seulement, celui qui se trouve immédiatement près de la sous-station même.

La station centrale est située à l'extrémité oues de la ville près du canal de Birmingham, lequel sert au transport du charbon consommé à l'usine et dont les eaux servent à l'alimentation des chaudières La disposition des bâtiments permet d'agrandir l'usine et d'y adjoindre autant de couples générateurs qu'il sera nécessaire ; pour cela il suffirait d'abattre le mur du fond de la salle des machines qui se trouve du côté du terrain ouvert et prolonger le bâtiment sans en changer la disposition.

L'usine actuelle, déjà agrandie depuis son inauguration, comprend la chambre de chauffe, la salle des machines et une autre salle contenant une batterie d'accumulateurs.

Les trois chaudières alimentent quatre couples générateurs séparés dont trois d'une capacité de 140 kw et le quatrième de 65 kw. Chacun de ces couples se compose d'un moteur à vapeur actionnant, au moyen d'une transmission par câbles, une dynamo à courant continu et à excitation séparée, d'une capacité de 140 kilowatts ; l'excitatrice entraînée au moyen d'une transmission par la dynamo génératrice donne 28 ampères sous 100 volts.

La vitesse angulaire des trois grandes dynamos est de 400 révolutions par minute, celle de la quatrième de 500 ; elles produisent ensemble 485 kilowatts à la tension de 2 200 volts.

Des quatre excitatrices dont la vitesse de rotation est de 720 tours par minute, trois suffisent à l'excitation des génératrices, la quatrième sert à charger la batterie d'accumulateurs et constitue une machine de réserve en cas d'avarie dans l'une des trois excitatrices. Un pont roulant servant au démontage des moteurs à vapeur et des dynamos complète l'installation mécanique de la station.

La batterie d'accumulateurs située dans une salle voisine se compose de 55 éléments Epstein du type T 7 avec récipients en verre d'une capacité de 140 ampères-heure à la décharge de 20 ampères. Cette batterie chargée pendant le jour est déchargée la nuit sur les lampes servant à l'éclairage de l'usine.

Le courant n'étant pas immédiatement distribué sur le réseau par la station génératrice, le tableau de distribution de cette dernière ne comporte que les instruments de mesure et les commutateurs du circuit à haute tension.

Le courant est réparti sur le réseau en trois points différents par des sous-stations dont la principale est celle du Town Hall. Cette dernière reçoit tout re courant produit par l'usine pour le distribuer aux deux autres sous-stations et à la partie du réseau qui lui est affectée. La distance entre l'usine génératrice et le premier point de distribution est de 1,28 km ; le courant y est amené par 8 câbles à haute tension isolés au bitume et placés sur des taquets disposés dans des auges en ciment raccordées ensemble et placées dans un caniveau. Les 8 câbles sont ainsi posés sur deux rangées superposées ; les auges sont remplies de bitume coulé à chaud puis recouvertes sur toute leur longueur de plaques de fer cimentée afin d'assurer une étanchéité parfaite. Les circuits de haute tension partant de la sous-station principale aux autres sous-stations sont disposés d'une façon analogue aux premiers.

Le circuit à haute tension affecté à l'éclairage à arc se compose de deux câbles à deux conducteurs soigneusement isolés, sous plomb, et recouverts d'une enveloppe protectrice en fil de fer galvanisé Chaque câble d'une longueur d'environ 7 km est simplement posé dans un caniveau souterrain ; les lampes sont toutes montées en série, le conducteur intérieur du câble servant de fil d'aller du courant et le conducteur extérieur de fil de retour commun.

La sous-station de Town Hall, située dans les sous-sols, remplit à la fois les fonctions de station

de distribution générale du courant, de station de transformation pour le courant d'alimentation de la partie du réseau qui est desservi par elle, et est aussi chargée du circuit des lampes à arc et de la surveillance générale sur tout le réseau.

Le courant arrivant à la tension de 2 000 volts est transformé en courant à 110 volts avec une intensité de 42 ampères par deux transformateurs rotatifs. Un troisième transformateur affecté à l'éclairage à arc ramène la tension à 1 000 volts sur chacun des deux circuits ; en outre, comme la station possède une batterie d'accumulateurs, on a installé un survolteur qui permet d'en opérer la charge. Le tableau de distribution se compose de 10 panneaux affectés à des services divers de répartition du courant ; le premier sert à établir les connexions entre les transformateurs et les conducteurs à basse tension du réseau, il est muni de deux coupe-circuits magnétiques bipolaires, de commutateurs et d'ampèremètres. La quantité d'énergie contrôlée par ce panneau est de 90 kilowatts. Le deuxième panneau est affecté à la mesure de l'énergie totale fournie par la station génératrice ; les panneaux 3, 4, 5 et 6 servent, les deux premiers à la mesure du courant fourni aux transformateurs de la station, et les deux autres à la mesure du courant à haute tension envoyé aux deux autres sous-stations. Chacun de ces quatre panneaux porte un voltmètre électrostatique donnant le voltage du courant de haute tension, un coupe-circuit magnétique, un commutateur bipolaire et un rhéostat de régulation, la quantité d'énergie contrôlée par chacun d'eux est d'environ 45 kilowatts. Le panneau portant le numéro 7 sert à la charge et à la décharge des accumulateurs ; il est divisé en deux sections dont chacune comporte les appareils servant aux deux genres d'opération.

La partie droite, affectée à la charge, comprend un commutateur multiple servant à mettre dans le circuit autant d'éléments que le permet la quantité d'énergie fournie par le survolteur ; un ampèremètre, un voltmètre servant aux mesures du courant et coupe-circuits appropriés complètent la disposition de la section de charge. L'autre partie du tableau possède également un commutateur régulateur permettant de graduer la tension selon le nombre des éléments dans le circuit de décharge. Le panneau 8 sert à établir les connexions entre le transformateur ramenant la tension à 1 000 volts sur chacun des deux panneaux des circuits de lampes à arc ; les divers appareils groupés sur ce panneau se composent d'un voltmètre électrostatique, un commutateur bipolaire et un régulateur d'allumage. Les panneaux 9 et 10 reçoivent chacun d'eux le courant transformé à 1 000 volts et le distribuent sur chacun des deux circuits de lampes à arc.

Un compteur, système Aron, complète le groupe des appareils installés dans la sous-station centrale de distribution.

Ce compteur est employé pour mesurer et régler la charge des accumulateurs. Le courant de décharge, en traversant l'appareil, l'actionne dans une direction positive ; chaque jour, on recharge la batterie jusqu'à ce que l'aiguille du compteur, se mouvant cette fois dans une direction positive, revienne à zéro et l'on poursuit jusqu'à ce que la lecture négative soit suffisante pour compenser les pertes de la batterie.

Les deux autres sous-stations distribuant l'énergie sur les deux autres portions du réseau d'alimentation sont équipées chacune d'un transformateur rotatif de 45 kw, commandé par la sous-station du Town Hall. Le courant à haute tension partant du tableau de distribution de cette dernière actionne à son arrivée le transformateur, lequel se met en marche comme un moteur en série, le champ devenant faiblement magnétisé par quelques tours de l'enroulement en série.

On obtient ce résultat en intercalant dans le circuit un rhéostat dont on diminue graduellement le nombre de spires à mesure que le transformateur acquiert de la vitesse ; pendant ce temps, l'excitation shunt a augmenté, le voltage arrive à son maximum dans l'enroulement du transformateur dont le courant de transformation est distribué sur le réseau au moyen d'appareils commandés à la sous-station centrale. La disposition adoptée est la suivante : sur le panneau correspondant à la distribution du courant de l'une des deux sous-stations secondaires se trouve un petit commutateur que l'on ferme momentanément pour mettre le voltmètre en circuit avec un fil pilote reliant les deux stations et comprenant dans son circuit le solénoïde d'un commutateur automatique. Celui-ci, par l'action du courant très intense traversant son solénoïde, agit sur une roue dentée montée sur l'axe de la touche de contact, laquelle, entraînée par l'action, vient se placer sur la bande de prise de courant des conducteurs du réseau, établissant les connexions

entre les bornes génératrices du transformateur et e réseau. Quand on veut supprimer ces connexions, on répète la même opération, l'action inverse est produite par la même roue dentée qui ramène la touche de contact, mettant ainsi le transformateur hors du circuit. On intercale ensuite un rhéostat dans le circuit du champ, de sorte que le courant primaire du transformateur se trouve supprimé.

Les proportions d'enroulements, shunt et série des transformateurs les plus récemment installés, diffèrent des premiers en ce que le calcul de ces enroulements permet de diminuer la chute de potentiel survenant au départ dans les premiers modèles.

Les résultats obtenus par ce système de distribution d'énergie électrique, à Wolverhampton, ont été mentionnés dans un rapport officiel établi pour toute la durée de l'exploitation. Ce rapport dit qu'au 31 janvier de cette année 8270 lampes étaient raccordées, incandescence et arc, et pendant le cours de l'année précédente 172 207 unités avaient été vendues à raison de 5,50 fr par unité. Le rapport des lampes à arc de l'éclairage public pour la période d'une année a été de 500 fr par lampe ; tandis que celui des lampes à incandescence de l'éclairage privé n'a pas dépassé 8,15 fr par lampe pour la même période.

Les dépenses générales ont été, pour la même année, de 59,26 pour 100 de la somme représentant la totalité de l'énergie vendue pendant le même laps de temps.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE

L'ouverture de ce Congrès dont nous avons déjà parlé dans notre numéro du 23 mai (p. 385) est fixée au lundi 27 juillet.

L'emploi général du temps est ainsi fixé :

Lundi 27 juillet. — Séance d'ouverture. — Excursion : Gobelins, Muséum, Manufacture des Tabacs, Tour Eiffel. — Banquet.

Mardi 28. — Séances du matin : sections, I, II, IV, VII, X. — Séances de l'après-midi : sections I, II, V, VI, IX. — Réception à l'Hôtel-de-Ville.

Mercredi 29. — Séances du matin : sections I, III, IV, VII, VIII, IX. — Excursion : École de Grignon ou Usine Christofle.

Jeudi 30. — Excursion : Notre-Dame, Institut Pasteur, Saint-Cloud, Garches, Manufacture de Sèvres.

Vendredi 31. — Séances du matin : sections I, II, IV, IX, X. — Séances de l'après midi : sections II, III, V, VI, VIII, IX. — Conférence de M. Lippmann.

Samedi 1er août. — Séances du matin : sections : I, II, IV, VI, VII, VIII, IX. — Excursions : Usine à Gaz, Gennevilliers.

Dimanche 2. — Excursion aux environs de Paris.

Lundi 3. — Séances du matin : sections I, III, VI, IX, X ; eaux résiduaires. — Séances de l'après-midi : sections II, III, IV, V, VI, VII. — Banquet.

Mardi 4. — Séances du matin : sections I, II, IV, VI, VIII, IX ; eaux résiduaires.

Mercredi 5. — Séances du matin : sections I, IV, X ; eaux résiduaires. — Séance plénière. Clôture.

Jeudi 6. — Excursion à Rouen.

Les séances de la section X (Electrochimie) auront lieu le mardi 28 juillet, le vendredi 31 juillet le lundi 1er août et le mercredi 5 août à 9 heures précises dans la salle du rez-de-chaussée de l'hôtel de la Société d'encouragement.

Le programme de ces séances est provisoirement arrêté comme il suit :

Mardi 29 juillet.

1. Constitution du bureau.
2. Considérations générales sur les dernières applications de l'électrochimie. Communication par M. Minet.
3. Sur quelques appareils de chauffage par l'électricité. Communication par M. Charpy (Expériences).
4. Sur le four électrique. Communication par M. Moissan. — Expériences.

Vendredi 31 juillet.

1. Industrie de la soude et du chlore. Communication par M. Montpellier.
2. Résultats pratiques obtenus dans l'électrolyse des chlorures. Communication par M. Hulin.
3. Sur un électrolyseur. Communication par M. Peyrusson.
4. Préparation du carbure de calcium. Communication par M. Bullier et par M. Korda.
5. Éclairage par l'acétylène Communication par M. de Brévans.
6. Étude sur les applications de l'acétylène, par M. E. Hubin.
7. Chauffage et soudure électrique. Communication par M. Polyset.

Lundi 3 août.

1. Sur les accumulateurs électriques. Communication par M. Monnier.

2. Production électrolytique du lithium. Communication par M. Güntz.

Mercredi 5 août.

1. Application de l'électrolyse aux matières organiques. Communication par M. Gall.

2. Purification des eaux potables et des eaux vannes par l'électrolyse. Communication par M. le Dr Bordas.

3. Questions diverses d'électrolyse.

Parmi les communications faites aux autres sections et qui intéressent les électriciens, nous relevons :

Dans la section I (Sucrerie).

Épuration des jus par l'électrolyse. Communication par M. Battut. — Séance du mercredi 29 juillet, 9 heures, salle du rez-de-chaussée de l'hôtel des Sociétés savantes.

Dans la section VI (Produits chimiques).

Application de l'électrochimie à la fabrication des produits chimiques. Communication par M. Joly, séance du mardi 28 juillet, à 2 heures, salle du premier étage de l'hôtel de la Société d'Encouragement.

Industrie du caoutchouc de la gutta-percha et de l'ébonite (analyse du caoutchouc, de la gutta et des factices). Communication par M. Montpellier. Séance du samedi 1er août, à 9 heures, même salle.

Dans la section VII (Photographie).

La photographie du spectre infra-rouge, et étude des rayons Roentgen. Communication par M. Nodon. Séance du mercredi 29 juillet, à 9 heures, salle de l'entresol de l'hôtel de la Société d'Encouragement.

La photographie invisible et la photographie appliquée à diverses études scientifiques. Communication du Dr Ch. V. Zenger, de Prague, même séance.

La photographie par les rayonnements électriques. Communication du Dr Ch. V. Zenger, même séance.

Dans la section VIII (Métallurgie).

Désincrustation des chaudières, système Rossel. Communication par M. Rossel. Séance du mardi 4 août, 9 heures, amphitéâtre de l'Ecole des Mines.

Dans la section IX (Chimie hygiénique).

L'emploi de l'aluminium dans la fabrication des instruments de cuisine est-il nuisible à la santé ? Communication par le Dr Borsma. Séance du samedi 1er août, 9 heures du matin, salle du 2e étage de l'hôtel des Sociétés Savantes.

Ajoutons que ce congrès organisé par l'Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie de France et des Colonies, compte à l'heure actuelle plus de 1600 membres effectifs. Les adhésions (10 fr.) et les communications sont reçues par M. Dupont, secrétaire général, 156, boulevard Magenta à Paris.

DIVERS

Les chutes du Niagara. — Les journaux américains rapportent que la Compagnie d'exploitation des chutes du Niagara viennent de décider d'agrandir les installations actuelles en construisant un nouveau puits à turbines; ces dernières au nombre de 7 actionneront chacune un générateur d'énergie électrique d'une puissance de 5000 chevaux.

La totalité de l'énergie électrique fournie par ces nouveaux groupes, est destinée à être transmise à Buffalo pour y être utilisée par les tramways électriques, l'éclairage et force motrice.

Ce projet étant déjà adopté par la Compagnie, on étudie actuellement les travaux à entreprendre pour cet agrandissement.

Les tramways à air comprimé en Amérique.—La Métropolitan Traction Company de New-York doit prochainement expérimenter l'air comprimé comme agent de force motrice pour la traction des tramways sur une des lignes desservant les quartiers élevés de la ville.

On équipe actuellement plusieurs voitures avec des moteurs à air comprimé, des réservoirs et appareils de manœuvre nécessaires aux expériences que la Compagnie se propose de faire dans le but de comparer ce mode de traction avec la traction électrique à conducteur souterrain dont plusieurs lignes principales des parties élevées de la ville pourvues et qui paraît-il au point de vue économique de l'exploitation, n'ont pas donné les résultats que la Compagnie en attendait.

La déclinaison magnétique à Greenwich.—D'après le dernier rapport annuel de l'Observatoire de Greenwich, la déclinaison moyenne en 1895 était, en cet endroit, de 16° 57′ 4 ouest.

La composante horizontale du champ magnétique terrestre et l'inclinaison n'ont pu être déterminées avec précision par suite de la présence du fer dans les constructions voisines de la salle d'observations; l'erreur qui en résulte peut atteindre jusqu'à 3 et 4 minutes sur la valeur de l'inclinai-

son ; aussi la construction d'une nouvelle salle d'observation est-elle décidée.

Pendant toute l'année 1895 il n'a été observé aucune grande perturbation magnétique.

La nouvelle communication téléphonique entre Paris et Londres a été récemment l'objet d'une demande de renseignements de M. Henniker Heaton, à la Chambre des Communes.

Il résulte de la réponse de M. Hanbury que les travaux d'établissement des lignes aériennes sont commencés des deux côtés du détroit, mais qu'il n'a pas encore été passé de contrat pour la construction du câble et que pour cette dernière raison la dépense ne peut être évaluée. Il est également question de poser un second nouveau câble dès que le premier fonctionnera, et comme celui-ci, ce nouveau câble servira à la fois à la téléphonie et à la télégraphie. Le prix de la conversation téléphonique, qui est actuellement de 10 fr par 3 minutes, ne sera pas modifié.

La transmission électrique du son. — Les journaux américains rapportent que le bruit des chutes du Niagara s'entendait à New-York au moyen d'un téléphone installé dans une des salles de l'exposition d'électricité ; l'autre extrémité de l'appareil était placé près des chutes au lieu dit la « Cave des Vents ».

La Cave des Vents est une grotte naturelle située près de la chute du centre. On y accède par un escalier en spirale taillé dans le roc, de là, on peut approcher à environ trente mètres de la grande chute. Sur un des rochers les plus rapprochés, on avait placé un téléphone et son transmetteur ; ces appareils étaient protégés par une caisse en bois contenant aussi les piles. L'une des extrémités de cette caisse, celle dirigée vers les brisants était ouverte et munie d'un tuyau d'environ 30 centimètres de diamètre et long de 25 qui s'étendait tout près de la source du bruit. Les communications étant établies, on entendait distinctement à New-York les deux sons produits par l'eau en tombant sur les rochers, l'un de ces sons est perçant et est produit par l'eau frappant les roches découvertes sur les côtés de la chute, l'autre son ressemble à un rugissement sourd et est produit par la masse qui se brise sur les roches du fond et reprend le cours de la rivière en formant des flots d'écume et les tourbillons bien connus de cette magnifique chute.

L'éclairage des trains par l'acétylène. — Des essais d'éclairage de wagons par l'acétylène viennent d'être faits sur les chemins de fer suisses entre Zurich et Berne.

Voici quelques chiffres pratiques extraits du compte rendu : 1 kg de carbure de calcium donne environ 250 litres d'acétylène ; la consommation d'acétylène est de 0,7 litre par heure et par bougie pour des flammes de 20 à 30 bougies, elle est un peu plus élevée pour les flammes moins intenses. Au prix actuel de 50 francs les 100 kg de chlorure de calcium, le prix du mètre cube d'acétylène ressort à 2 francs. Or, 1 mètre cube d'acétylène donne la même lumière que 5 mètres cubes de gaz d huile comprimé.

Le rapport constate que l'éclairage obtenu est excellent, d'une coloration analogue à celle de l'arc électrique et d'une grande régularité.

Photographie de filaments incandescents. — M. R. D. Cassells a publié dernièrement *The Electrician*, de Londres, la photographie du filament d'une lampe à incandescence, branchée sur un circuit à 100 volts. Cette photographie montre que partout où le filament en forme de boucle se croise, la lumière émise est plus brillante, ce qui indiquerait que le filament de charbon, à cette température élevée serait transparent aux rayons lumineux. Cette expérience demanderait à être vérifiée.

La lumière de l'avenir. — La lutte constante des gaziers et des électriciens se terminera-t-elle à l'avantage des premiers ? C'est peu probable. Lorsque l'apparition du bec Auer, ou plutôt sa résurrection, conduisit plusieurs clients des secteurs d'éclairage électrique, à reprendre l'éclairage au gaz, les gaziers chantèrent victoire. S'il faut en croire les journaux américains, leur succès ne durera pas longtemps ; deux ingénieurs bien connus, M. Tesla d'un côté et M. Mac Farlan Moore d'un autre côté, seraient parvenus à obtenir des résultats pratiques fort intéressants au moyen de lampes à vide, sans filaments, alimentés par des courants à grande fréquence. M. Tesla, en particulier, annonce qu'il a pu obtenir avec ses appareils d'essai un rendement de 10 pour 100, c'est à dire 3 fois plus élevé que celui des lampes à incandescence actuelles ; il espère obtenir d'ici peu des résultats encore meilleurs.

Nous reviendrons d'ici peu sur ce sujet.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 32 Boulevard de Vaugirard

Tome VIII Samedi 25 Juillet 1896 3e Année. — N° 30

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

TRANSFORMATEUR ROTATIF SCHUCKERT

A COURANT CONTINU, MONOPHASÉ, DIPHASÉ, ET TRIPHASÉ

Dans une série d'articles qui vont suivre celui-ci, nous avons l'intention de décrire les principales installations du laboratoire électrotechnique de Mons.

Nous ne suivrons pas un ordre déterminé dans notre travail, nous nous bornerons à décrire les appareils pour lesquels nous avons, à un moment donné, des renseignements qui permettent une description intéressante.

La machine que nous présentons aujourd'hui aux lecteurs de l'« Éclairage électrique » est très curieuse, de fabrication toute récente et construite sur commande par les maisons Schuckert, de Nuremberg, et Bouckaert, de Bruxelles.

C'est un moteur transformateur rotatif à un seul enroulement qui permet d'opérer avec des courants continu, monophasé, diphasé triphasé.

On comprend quelle élasticité d'usage cette machine permet de réaliser dans un laboratoire.

Au commencement de l'année, elle peut servir à relever des courbes de potentiels au collecteur, à rechercher les coefficients de perte de flux, à l'étude des propriétés des dynamos à courant continu à excitation indépendante et en dérivation, à prendre des caractéristiques, à faire des couplages, etc. Plus tard, elle permet les mêmes études en génératrice à courants alternatifs à excitation indépendante, elle peut fonctionner comme transformateur de courant continu en courants alternatifs (mono et polyphasés) et inversement, et aussi comme transformateur de courants alternatifs. Enfin, elle sert parfaitement bien de moteur à courant continu sous deux modes d'excitation et de moteur à courants alternatifs.

DESCRIPTION DE LA MACHINE

Bâti. — Le bâti est en fonte, comme le représentent les figures 1, 2 et 3; les paliers et les inducteurs y sont fixés au moyen de boulons sur des portées de dressement.

Inducteur. — L'inducteur, du type hexapolaire, est constitué par deux pièces assemblées par boulons suivant un plan horizontal passant par l'axe de la machine.

Ces pièces portent chacune trois pôles en fonte qui sont les noyaux des électros et que terminent des plaques de fer doux plus larges, tenant lieu d'épanouissements polaires. Ces plaques sont fixées aux noyaux par des vis à tête fraisée.

Induit. — L'induit est constitué par un noyau en tôles fines supporté par deux croisillons calés sur l'induit et dont les moyeux sont frettés. Le noyau est recouvert d'un enroulement continu, du type Gramme, divisé en 144 sections pour le courant continu, et portant des connexions spéciales, que nous

décrirons plus loin, pour les courants alternatifs.

L'arbre est en acier.

Il porte à gauche le collecteur *a* à 144 lames pour le courant continu et à droite les six bagues *b* nécessaires pour les courants alternatifs.

On voit sur la figure 1 les deux tourillons de l'arbre et à l'extrémité de droite la portée qui doit recevoir la poulie. Celle-ci est donc placée après le palier.

Collecteur pour courant continu, balais et porte-balais. — Le collecteur, qu'aucune des figures ne détaille, est supporté par une sorte de poulie en fonte, calée sur l'arbre et portant un rebord tronconique à évasement intérieur pour retenir et caler les lames en cuivre qui doivent former le commutateur.

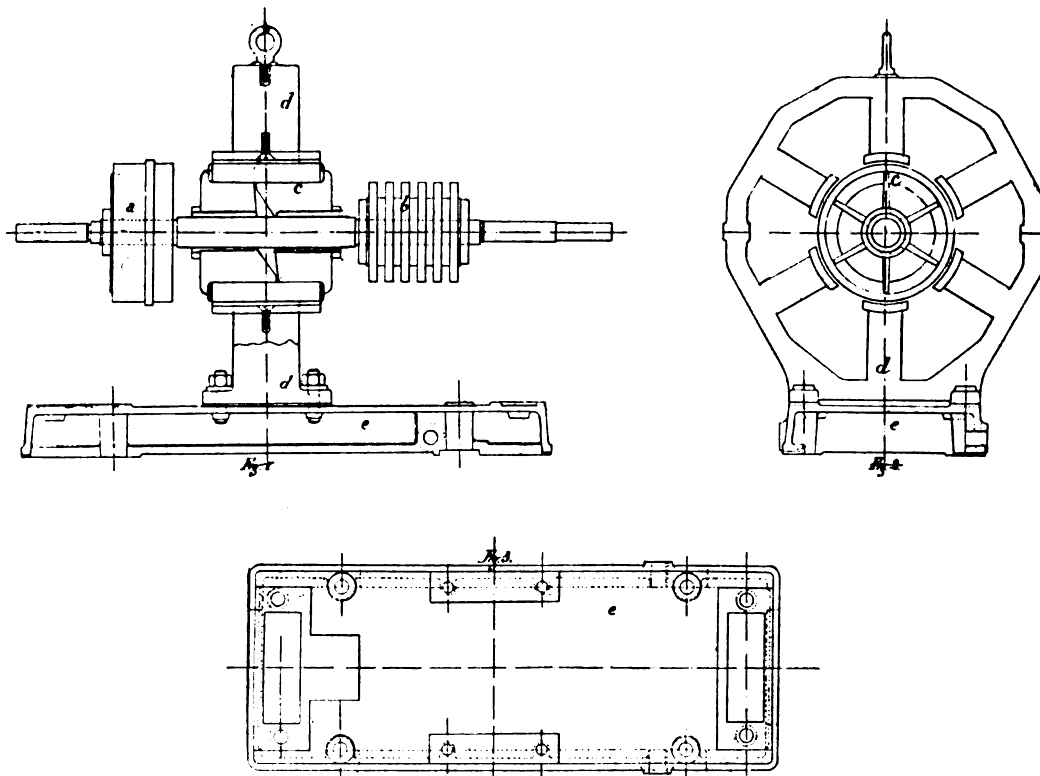


Fig. 1, 2 et 3. — Élévation, coupe transversale et plan du transformateur rotatif Schuckert.

Le diamètre de ce dernier, égal à celui du noyau de l'induit, mesure 280 mm.

Le collier porte-balais, en deux pièces, est mobile sur la tête du palier correspondant. Il porte six bras pour les six paires de balais dont le détail apparaît bien, à droite, sur la photographie reproduite à la figure 5.

Commutateur pour courants alternatifs. — La figure 4, sous trois vues, montre la disposition des bagues qui doivent amener les courants sous les balais et des axes porte-balais. Les bagues *d*, en bronze, sont serrées entre et sur isolant *e* dans la grande gorge d'un manchon en fonte *b* dont une extrémité *c* forme écrou de serrage. Les fils *f*, isolés, y amènent le courant de l'induit.

Un support *g*, fixé sur la tête de l'un des paliers *k*, soutient les deux axes porte-balais qui sont isolés des balais au moyen de tubes et de plateaux *e* en fibre. Les douze balais, à raison de deux par bague, sont supportés sur les douilles *i* en laiton, et mis en communication entre eux et avec les bornes au moyen des arcs conducteurs *i* qui embrassent les

douilles. Des bornes que l'on voit à l'extrémité de ces arcs, des fils descendent aux bornes extérieures qui sont fixées sur le bâti de la machine, à gauche, ainsi que le montre la figure 5.

Les balais, placés sur les douilles *i*, entre les rondelles isolantes *e*, sont du même type que ceux du collecteur à courant continu et de construction simple, bien compréhensible à l'inspection de la figure.

Paliers.— Les paliers, représentés par la figure 6, sont à rotule et graissés par une bague en bronze tournant avec l'arbre. Ils n'ont pas de chapeau démontable. Ils présentent à l'endroit de l'arbre une ouverture cylindrique permettant le passage du coussinet et ce sont deux douilles spéciales qui, se fixant de chaque côté de la tête, viennent supporter la partie sphérique du coussinet et fermer l'entrée du réservoir d'huile. Une petite vis dont la tête pénètre dans une rainure de l'une de ces douilles, et qui est fixée au coussinet, empêche ce dernier de tourner.

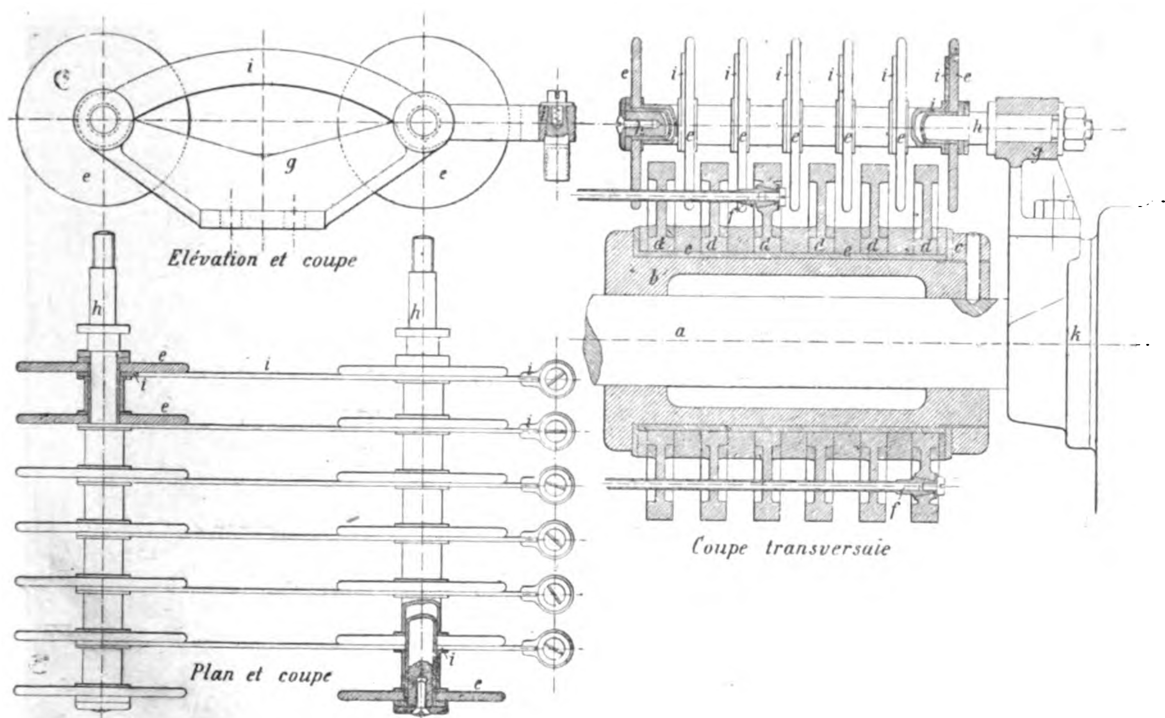


Fig. 4. — Détails du commutateur pour courants alternatifs.

Enroulement. — Les bobines des électros sont enroulées en série. Elles constituent un ensemble dont la résistance est de 40 ohms.

L'induit possède un enroulement continu du type Gramme.

Pour le courant continu, il est divisé en 144 sections (voir fig. 7) correspondant aux 144 lames du collecteur. Six balais, reliés trois par trois en quantité, recueillent ou amènent le courant.

Pour le courant monophasé, l'induit est divisé en 6 bobines connectées en quantité. Ces six bobines comprennent chacune un des arcs *a b* du tracé de la figure 7.

Les liaisons sont ainsi faciles à réaliser. On réunit les trois points *a* et les trois points *b* ensemble comme l'indique le tracé, puis on fait communiquer l'un des points *a* et l'un des points *b* chacun avec une borne de la machine (*a* avec 4, *b* avec 3). Entre 3 et 4 on peut donc recueillir le courant monophasé.

Si on fait les mêmes connections pour les trois points *c* et les trois points *d*, et si on les

fait communiquer avec les bornes 1 et 2, on obtient encore un courant monophasé, attendu que les points *c* et *d* sont distants d'un sixième de l'enroulement d'induit.

En résumé on peut donc obtenir les courants monophasés entre les points 1 et 2 ou entre les points 3 et 4.

Quand la différence de potentiel est nulle entre les lames *a* et *b* (c'est le cas de la figure 7), elle est maximum entre *c* et *d*. Si donc on prend en même temps un courant aux bornes 1 et 2 et un autre courant aux bornes 3 et 4, on a en réalité deux courants alternatifs de même période et de même amplitude décalés de $\frac{\pi}{2}$ ou 90° · ce sont les deux courants diphasés.

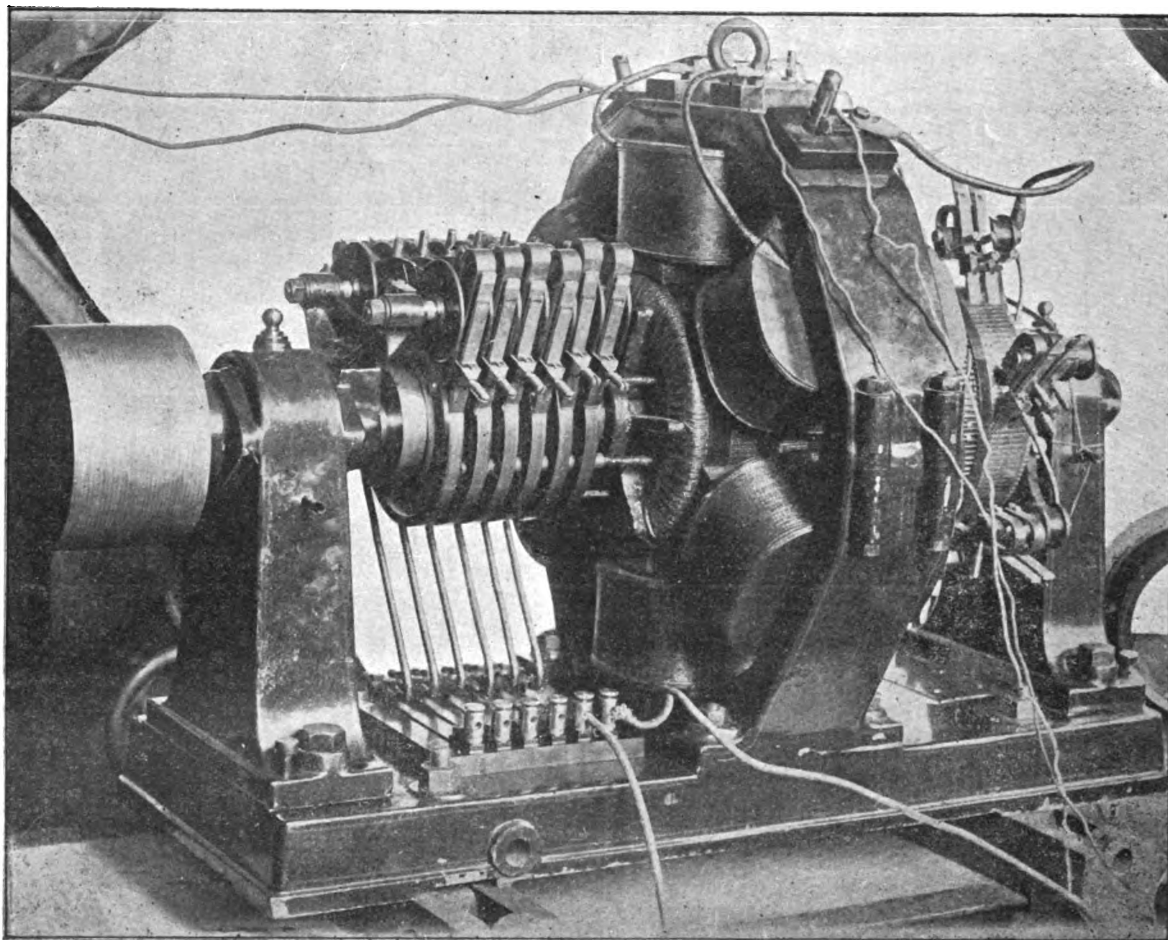


Fig. 5. — Vue d'ensemble du transformateur rotatif Schuckert.

Les deux courants diphasés passent donc par les bornes 1 — 2 et 3 — 4.

Enfin les trois points *a* les trois points *e* et les trois points *f* sont distants de 120° dans l'induit, si nous comptons 360° entre les pôles de même nom, et il existe entre les points *a*, *e* et *f* des différences de potentiel correspondant à celles données par trois sinusoïdes semblables décallées de 120°. Il en est de même entre les lames du collecteur également éloignées des points cités, dans les trois bobines *a e*, *e f* et *f a*. Par conséquent, les trois cou-

rants de ces bobines sont décalés de 120° et le circuit de ces courant est du genre polygonal.

Les courants triphasés passent donc par les bornes 4, 5 et 6.

Résultats d'expériences

Nous n'avons pas fait d'expériences définitives sur la machine et nous ne pouvons par conséquent donner des résultats nombreux et les discuter. On a vu, du reste, que ces essais pourraient être multiples et par cela même ils demanderaient beaucoup de temps.

D'autre part, on sait que malgré les soins que mettent les élèves à exécuter des levés, on ne peut pas souvent tabler sur leurs résultats dans un article de revue scientifique; d'abord ils n'ont pas toujours la pratique nécessaire, ensuite le temps dont ils disposent n'est pas suffisant pour contrôler sûrement les chiffres trouvés. Nous nous servirons cependant des carnets de laboratoire des élèves de l'Institut de Mons pour donner quelques résultats exacts et intéressants obtenus pendant leurs opérations.

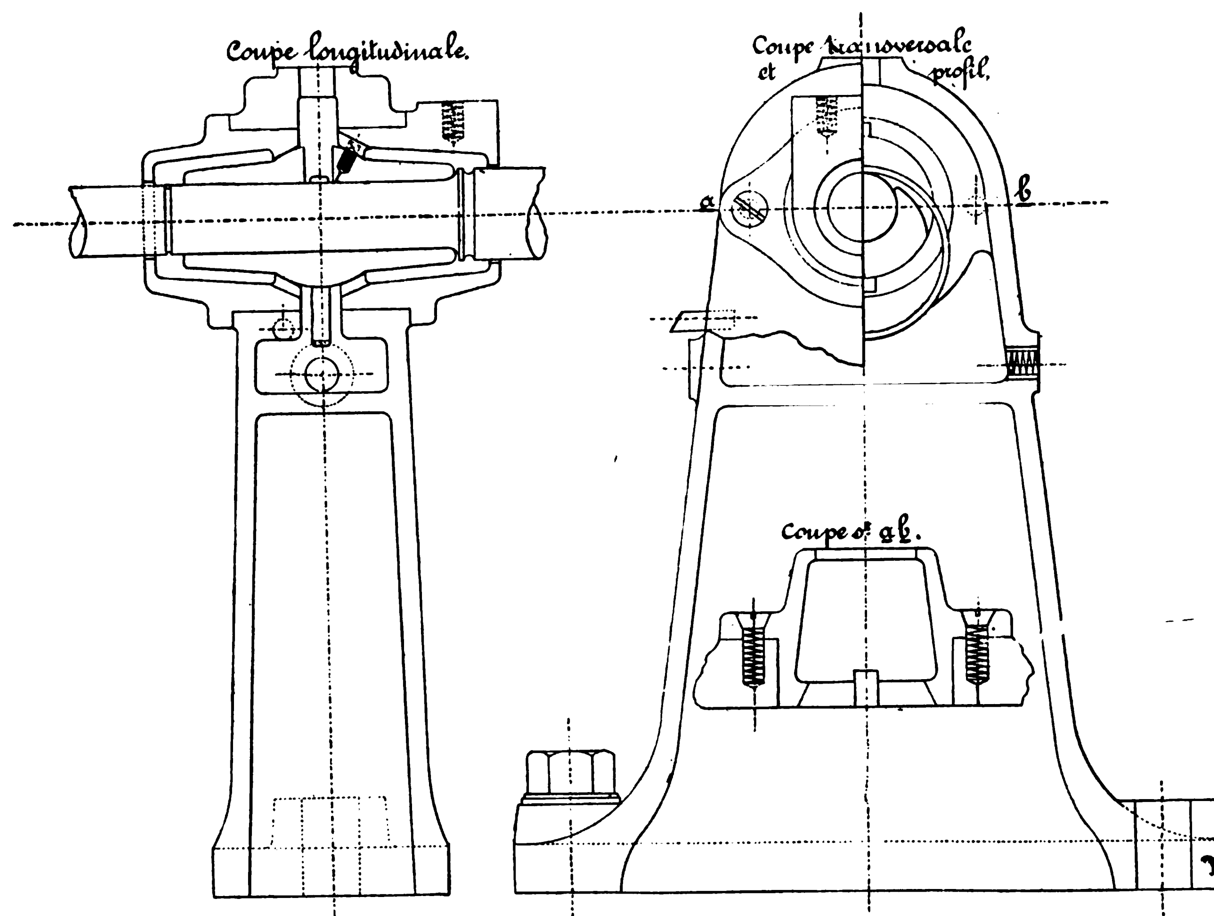


Fig. 6. -- Détails des paliers.

Courbes des potentiels. — La machine fonctionnait en génératrice à courant monophasé. L'un des balais du collecteur à courant continu était remplacé par un balai double dont les deux parties étaient reliées à un galvanomètre à réflexion. Le collier porte-balais était gradué afin de tourner d'angles

égaux à chaque déplacement. On a pu ainsi obtenir, par une méthode connue et par points, des courbes qui sont représentées sur la figure 8.

Le dessin, exécuté à l'échelle, montre l'induit développé en ligne droite se déplaçant vis-à-vis des pôles.

A circuit extérieur ouvert, et à excitation indépendante constante de 2 ampères, on a obtenu la courbe n° 1 qui donne la f. é. m, produite dans chaque section de l'induit. La f. é. m. considérée étant proportionnelle à la variation du nombre de lignes de force coupées à chaque instant par les sections, on voit que cette variation, nulle entre les pôles (point de maximum de flux) va en augmentant jusque vis-à-vis de ces derniers où elle reste constante : c'est qu'en face des pièces polaires le champ est uniforme et les lignes de force sont radiales.

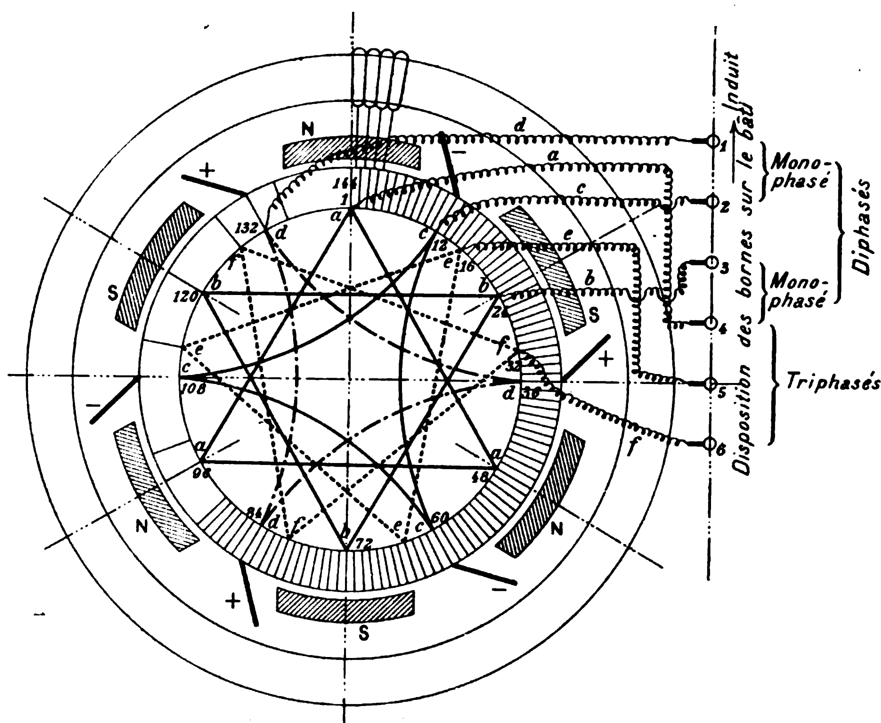


Fig. 7.

A circuit extérieur débitant un courant monophasé de 80 ampères, on a obtenu la courbe n° 2.

La puissance utile développée était alors de $86 \times 60 = 5\,160$ watts. La puissance normale étant de 5 000 watts (6,8 chevaux-vapeurs) la courbe n° 2 représente la variation normale des f. é. m. créées dans chaque spire.

Les potentiels totalisés auraient pu être déterminés par la méthode de Mordey ; on ne l'a pas fait pour ce régime. On pourrait aussi les avoir en traçant l'intégrale de la courbe n° 2.

Cette dernière montre que, lorsque la dynamo débite, la variation du potentiel sous les pièces polaires n'est plus uniforme, le flux n'y est plus constant. C'est qu'en effet la réaction due à la f. m. m. du courant d'armature contrarie le flux en le diminuant sous les pôles et en augmentant les pertes par l'air. Si nous parcourons l'entrefer de *a* à *b* et de *a'* à *b'*, vis-à-vis des épanouissements, nous voyons que la variation du flux est plus forte en *b* et *b'* qu'en *a* et *a'*, qu'elle passe par un maximum très près de *a* et *a'*, et qu'elle diminue ensuite presque régulièrement jusqu'en *b* et *b'*.

Le déplacement du flux, qui a en quelque sorte glissé vers la droite, sens du mouvement de l'induit, a amené le déplacement des lignes neutres dans la même direction.

Cet avancement correspond à l'angle de calage des balais dans la marche à courant continu.

Comme on doit s'y attendre lorsqu'il s'agit de ces génératrices bien proportionnées et à un nombre de pôles assez grand, l'angle de calage ainsi que la réaction magnétique d'induit sont faibles.

A circuit extérieur débitant un courant de 2,5 ampères, dans deux fortes self-inductions

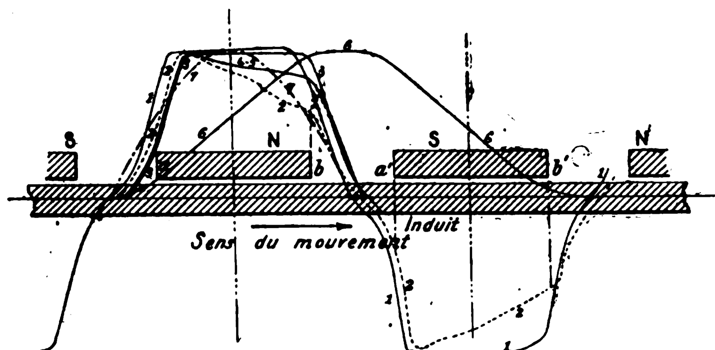


Fig. 8.

groupées en dérivation, on a recueilli les éléments du tracé de la courbe n° 3 qui indique un retard de phase assez grand dû à la self-induction du circuit. Le courant étant faible, les courbes 1 et 3 sont semblables.

A circuit extérieur débitant un courant de 46,8 ampères, dans des self-inductions appropriées ou dans des capacités voltamétriques, on a pu figurer les courbes 4 et 5 sensiblement

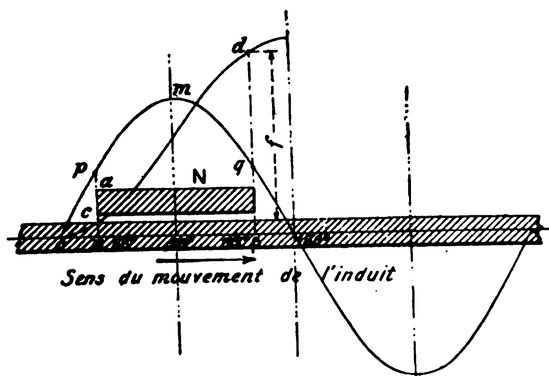


Fig. 9.

coïncidentes et de forme intermédiaire entre celles des fonctionnements à grand et à faible débit. Le décalage était un peu différent dans les deux cas et les voltages de 65 et 69,2 volts les capacités voltamétriques relevant la f. é. m. de 4,2 volts par l'avance qu'elles donnaient au courant, avance qui diminuait la réaction magnétique d'induit.

Enfin, à circuit ouvert, la courbe des potentiels totalisés a été déterminée par la méthode de Mordey. Elle porte le n° 6 au diagramme.

Le tracé mixte n° 7 indiquerait la forme des courbes si elles avaient eu l'allure sinusoïdale.

Différences de potentiel relatives entre les diverses bornes des circuits à courants alternatifs. — Résultats obtenus à 975 tours de la machine sous 2 ampères d'excitation indépendante :

A.	entre les bornes	6-5, 6-4 et 5-4	(courants triphasés)	65	volts
B.	»	1-2, 3-4	(mono et diphasés)	80	»
C.	»	6-2, 5-1	....	77,5	»
D.	»	1-3, 1-4, 2-3, 2-4	....	56,5	»
E.	»	3-5, 3-6	....	41	»
F.	»	1-6, 2-5	....	21	»

Nous allons voir si, partant de la connaissance de la différence de potentiel entre les bornes pour courant monophasé, on peut déterminer par le calcul, en supposant que les courbes de f. é. m. sont sinusoïdales, la dif-

férence de potentiel entre deux bornes quelconques.

Remarquons pour cela que, d'après la figure 7, en comptant 360° pour un champ double (situé entre deux pôles de même nom) les bornes correspondant aux diverses combinaisons ci-dessus comprennent :

A.	120°	D.	90°
B.	180°	E.	60°
C.	150°	F.	30°

Le rapport des f. é. m. maxima est sensiblement le même que le rapport des f. é. m. efficaces. Nous déterminerons le premier.

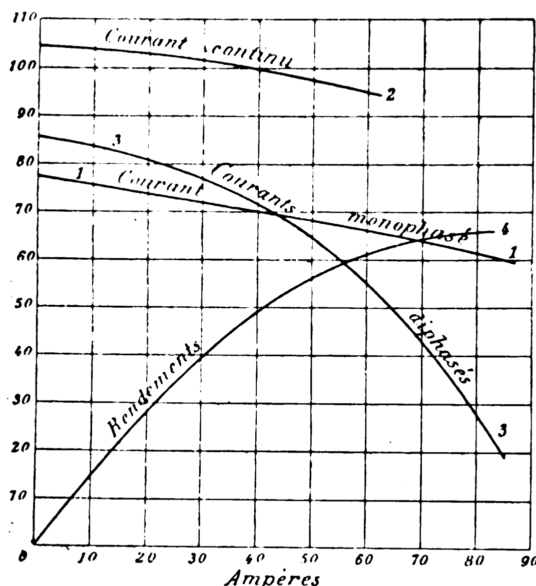


Fig. 10.

La f. é. m. est maximum dans une bobine lorsqu'elle est symétriquement placée par rapport à l'axe d'un pôle. Cette f. é. m. s'obtient en intégrant la courbe des potentiels o° $p\,m\,q$ 180° de la figure 9 pour l'angle embrassé par la bobine. Ainsi, pour une bobine comprenant la largeur de la pièce polaire $a\,b$ on intègre entre β et α, ce qui donne la hauteur f, de c à d, sur la courbe $o\,c\,n\,d$ qui est l'intégrale de o° m 180°.

Cette courbe $o\,c\,n\,d$ est en somme la courbe des potentiels totalisés et nous l'avons tracée pratiquement sur la figure 8, n° 6.

Le rapport des intégrales des sinus donnera évidemment le rapport des f. é. m. maxima et efficaces. Ces intégrales donnent :

$$\text{A.}\quad \int_{30^\circ}^{150^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 0{,}866$$

$$\text{B.}\quad \int_{0^\circ}^{180^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 1$$

$$\text{C.}\quad \int_{15^\circ}^{165^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 0{,}966$$

$$\text{D.}\quad \int_{45^\circ}^{135^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 0{,}707$$

$$\text{E.}\quad \int_{60^\circ}^{120^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 0{,}500$$

$$\text{F.}\quad \int_{75^\circ}^{105^\circ} \sin\alpha\, d\alpha = 2 \times 0{,}259$$

Les différences de potentiel seraient donc entre elles, d'après la loi sinusoïdale, comme les nombres :

0,866, 1, 0,966, 0,707, 0,500, 0,259.

En partant de la différence de potentiel du courant monophasé, qui est de 80 volts, nous aurions donc :

A-69, B-80, C-77,2, D-56,5, E-40, F-20,7 volts.

La seule différence appréciable entre ces chiffres et ceux que révèle l'expérience est celle de 69,2 — 65 = 4,2 volts (5,8 pour cent) qui paraît due en partie à une erreur de lecture ou à une diminution momentanée de la vitesse.

Caractéristiques. — Les courbes 1 et 2 de la figure 10 représentent respectivement les caractéristiques externes pour courants alternatifs et pour courant continu, à excitation indépendante constante. On voit qu'elles tombent lentement vers l'axe des abscisses, bien plus lentement que la caractéristique n° 3 d'une génératrice bipolaire de même puissance appartenant également au laboratoire de Mons.

Courbe des rendements industriels dans le fonctionnement en transformateur. — Une courbe incomplète des rendements industriels en transformateur de courant continu en courants alternatifs a été déterminée par les élèves : c'est la courbe n° 4 de la figure 10.

Elle dénote un rendement maximum relativement faible dû très probablement en grande

partie aux douze balais qui frottent sur les bagues et le collecteur à une grande distance de l'arbre. Peut-être avait-on donné trop de pression à ces balais.

S. Hanappe.

OBSERVATION
DES
APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES (1)

§ 8. Index et cadran divisé.

Dans la plupart des galvanomètres et électromètres, l'action électrique produit un déplacement angulaire de l'équipage ; la mesure du phénomène étant donnée par ce déplacement, il faut le mesurer lui-même ; dans ce but, le plus simple consiste à munir la partie mobile d'un index plus ou moins long qui se déplace au-dessus d'un cadran divisé.

On conçoit que pour un angle de déviation déterminé, la précision de la mesure sera d'autant plus grande que le chemin parcouru par l'extrémité de l'index sera lui-même plus grand ; aussi a-t-on été conduit à mettre des index de plus en plus longs, mais pratiquement plusieurs causes s'opposent à l'accroissement de longueur de l'index : d'abord les dimensions de l'appareil qu'il est matériellement impossible d'augmenter indéfiniment et ensuite, pour les équipages très légers, un index, si léger qu'il soit, a toujours un moment d'inertie beaucoup trop grand ; cette disposition a été réservée aux instruments peu sensibles, en particulier aux instruments industriels étalonnés.

L'observation d'un appareil muni d'un index exige quelques précautions ; en effet, si l'observateur ne place pas son œil dans le plan, perpendiculaire au cadran, qui passe par l'index, l'image de celui-ci est projetée sur le cadran à droite ou à gauche de sa position exacte, il en résulte une *erreur de parallaxe* qui est assez importante lorsque l'index est éloigné du cadran. Pour éviter cette erreur, lord Kelvin trace ses cadrans sur un miroir plan argenté; il suffit alors de se placer de telle sorte que l'extrémité de l'index et son image dans le miroir se superposent pour obtenir la plus grande précision que l'on puisse espérer par cette méthode.

Lorsqu'on veut observer aussi exactement que possible un appareil non muni de ce miroir, M. Drouin conseille d'employer un parallélipipède épais, en verre, que l'on pose sur la glace ordinairement parallèle au cadran qui ferme l'appareil, et à regarder l'index ; celui-ci semble coupé par le bloc de verre, à moins que l'œil ne se trouve comme précédemment dans le plan normal au cadran et passant par l'index ; dans toutes les autres positions, la partie vue au travers du bloc de verre semble déviée, ce qui fait paraître l'index brisé.

§ 9. Miroirs.

Dans les laboratoires, on se sert plus généralement d'une disposition indiquée par Poggendorff, qui consiste à munir l'équipage mobile d'un petit miroir plan m, en face duquel on place, à une distance D, une échelle divisée et une lunette perpendiculaire à cette échelle (fig. 11) ; dans ces conditions, si l'équipage vient à se déplacer d'un angle α, le rayon réfléchi dans la lunette restant fixe, le rayon incident se déplacera d'un angle double 2α et viendra donner dans la lunette l'image d'un point de l'échelle situé à une distance d du premier :

$$d = D \operatorname{tg} 2\alpha.$$

Cette disposition ne s'applique évidemment qu'à de très petits angles de déplacement, de telle sorte que $\operatorname{tg} 2\alpha$ est très peu différent de $2 \operatorname{tg} \alpha$, ce qui revient à dire que le système représente un index de longueur 2 D ; or on peut donner à D une très grande longueur; on augmente ainsi la sensibilité dans de très grandes limites sans changer le moment d'inertie du système mobile.

La disposition avec lunette et échelle, très

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 446 ; 6 juin 1896.

employée en Allemagne, exige de la part de l'observateur une attention constante et fatigante ; aussi en France et en Angleterre, a-t-on recours de préférence à la méthode de projection : la lunette est remplacée par une petite fenêtre percée dans un écran et munie d'un réticule vertical ; une source de lumière L (fig. 12), placée derrière cette fenêtre, envoie ses rayons sur le miroir *m* qui est *concave* et de foyer

$$f = \frac{D}{2};$$

le rayon réfléchi vient former sur la règle divisée une image lumineuse ou *spot* de la

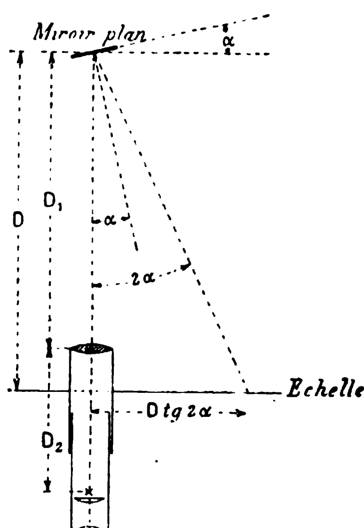


Fig. 11. — Disposition de Poggendorff.

fenêtre et c'est le déplacement *d* de ce spot que l'on observe ; il est encore égal à

$$d = D \operatorname{tg} 2\alpha.$$

L'échelle, dans ce cas, peut être tracée sur papier opaque et observée en se plaçant entre elle et le miroir, ou encore, et c'est le procédé le plus général aujourd'hui, l'échelle dessinée sur *verre dépoli, celluloïd* ou *papier huilé* est observée par transparence ; on obtient ainsi une position plus commode de l'observateur et un éclairage plus facile ; avec l'échelle opaque, il faut toujours se placer dans une chambre presque obscure en ayant en L une lampe assez puissante ; avec l'échelle transparente, une chambre assez éclairée peut être employée et dans bien des cas même, on remplace la lumière émise par la lampe L, par celle du ciel et des nuées.

Miroirs. Les miroirs employés sont *plans* lorsqu'on se sert d'une lunette, *concaves* ou équivalents lorsqu'on emploie l'échelle à projection.

Le miroir *plan* doit toujours avoir le plus grand diamètre possible, car le *champ* de la lunette qui sert de viseur est limité par un cône ayant son sommet sur l'objectif et le miroir comme base ; il n'y a pas intérêt à augmenter le diamètre du miroir au-delà de la grandeur correspondant au champ propre de la lunette, lequel est déterminé par la dis-

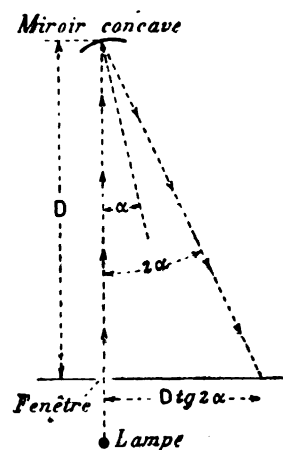


Fig. 12. — Méthode de projection.

tance entre l'objectif et l'oculaire, ainsi que par l'ouverture utile de celui-ci, c'est à dire que si D_1 (fig. 11) est la distance de l'objectif au miroir, D_2 celle de l'objectif au plan du réticule et δ l'ouverture du diaphragme ou du verre de champ de l'oculaire, il faudra que le diamètre δ_m du miroir soit au plus

$$\delta_m = \delta \frac{D_1}{D_2}.$$

En général, le diamètre du miroir est plus petit que cette valeur et limite le champ d'autant plus que la distance D_1 est plus grande. Avec les échelles ordinaires divisées en mm

et chiffrées de 10 en 10 divisions, il est bon pour la commodité des lectures d'avoir toujours dans le champ au moins un chiffre (fig. 13), c'est à dire que l'on doit voir environ 10 divisions ou 10 mm, de telle sorte que si l'on suppose la lunette à la même distance que l'échelle $D_1 = D$, il faudra employer un miroir dont le diamètre sera au moins égal à $\frac{D}{200}$.

Il y a avantage à donner le plus grand champ possible, ce qui facilite beaucoup les lectures ; avec un champ étroit et un mouvement un peu rapide du miroir, les divisions passent trop vite dans la lunette et on ne peut rien lire.

Dans certains cas et surtout avec les lunettes à fort grossissement, il est préférable de prendre un miroir rectangulaire dont le grand côté est perpendiculaire aux traits de

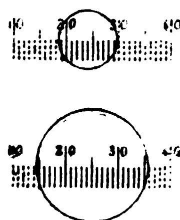


Fig. 13.

l'échelle ; par cette disposition, on obtient des images plus nettes, mais on augmente le moment d'inertie.

Avec l'échelle à projection, on emploie quelquefois aussi un miroir *plan* devant lequel on place une lentille convergente, *biconvexe* si on veut éviter une réflexion sur la face plane, *plan-convexe* avec la face plane tournée vers le miroir, lorsqu'on cherche à obtenir une seconde image *fixe* destinée à servir de repère, (fig. 14). Avec cette disposition, le foyer de la lentille doit être calculé comme si la distance D était diminuée de l'espace compris entre son centre optique et le miroir; comme les rayons lumineux traversent 2 fois la lentille, son foyer dans cet emploi est moitié de ce qu'il est dans les conditions ordinaires, on doit donc avoir $f = D_1$.

Les miroirs concaves employés sont de diverses natures ; les uns simplement découpés dans des sphères à grand rayon, de la manière habituelle dont on fait les verres de montre, donnent, grâce à un choix convenable, d'assez bonnes images ; mais formés de 2 faces presque rigoureusement parallèles, ils ont comme les miroirs plans, l'inconvénient de donner plusieurs images très voisines et d'éclat décroissant ; il en est de même pour les miroirs concaves travaillés optiquement ; pour obvier à cet inconvénient, on emploie de plus en plus, au lieu des miroirs concaves, des petites *lentilles plan-convexes*, très minces, dont la

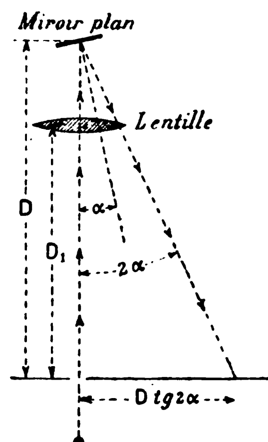


Fig. 14

face plane est argentée ; c'est en résumé la disposition miroir-plan et lentille ci-dessus, dont les éléments ont été juxtaposés (fig. 15).

Il y a presque toujours intérêt à employer un miroir de grand diamètre pour que l'*éclairement* du spot soit, à égalité de source lumineuse, aussi grand que possible.

Il n'est pas nécessaire que l'échelle et la fenêtre éclairée ou la lunette soient à la même distance du miroir ; avec la lunette on a même intérêt lorsqu'il est possible de le faire, à mettre celle-ci aussi près que possible du miroir; on augmente ainsi le champ de l'instrument et, à grossissement égal, on voit mieux les divisions ; il faut bien se rappeler d'ailleurs que la déviation observée est simplement fonction de la distance D de l'*échelle au miroir*.

Dans la méthode de projection, il faut et il suffit que la distance l de la fenêtre éclairée au centre optique du miroir ou du système équivalent soit le foyer conjugué de la distance D_1 de l'échelle au même point :

$$\frac{1}{D_1}+\frac{1}{l}=\frac{1}{f}$$

Rappelons encore ici que f dans le cas d'une lentille (fig. 14) doit être pris égal à la *moitié* du foyer réel de cette lentille et que le centre optique peut être pris dans ce cas comme étant au centre de la lentille alors qu'avec le miroir concave ou la lentille plan-convexe argentée, il est au centre du miroir.

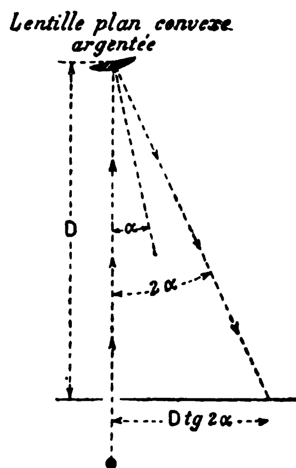


Fig. 15.

Le collage des miroirs est un point très important ; il faut autant que possible fixer les miroirs sur leurs supports au moyen de colle de caoutchouc ; cette colle que l'on peut facilement remplacer par du caoutchouc, fondue dans une flamme, a l'avantage de laisser le miroir libre de se dilater ; les colles rigides, comme par exemple les vernis, ont l'inconvénient de déformer le miroir et de troubler les images ; il est également bon, pour la même cause, de ne coller les miroirs que sur une petite surface ; enfin, l'usage des crochets retenant les miroirs par leurs bords, doit être réservé aux miroirs épais et aux appareils soumis à des chocs susceptibles d'amener le décollage du miroir.

L'inconvénient du collage au caoutchouc réside dans la lenteur du séchage, de telle sorte que pendant longtemps le miroir se déplace sur son support et est susceptible de se décoller ; toutefois cet inconvénient est largement compensé dans la suite par la netteté des images obtenues.

§ 10. Échelles et Lunettes

Il existe un très grand nombre de types d'échelles et de lunettes ; dans certains cas les

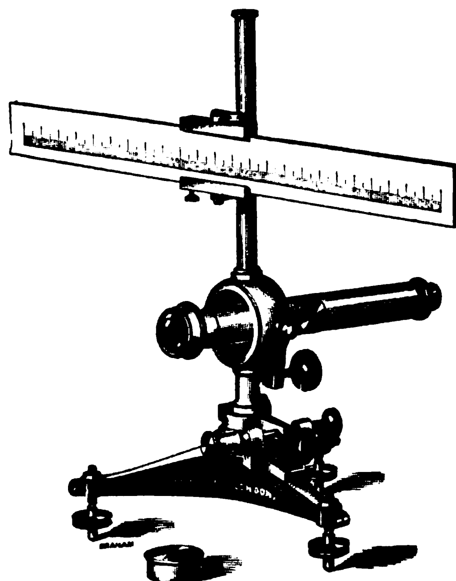


Fig. 16.

deux appareils sont indépendants et permettent de prendre des distances différentes entre le miroir et chacune des deux pièces, mais la disposition la plus commode consiste à les réunir sur un même pied muni d'un réglage en hauteur et quelquefois de vis calantes (fig. 16). L'échelle de 50 cm de longueur, divisée en millimètres, est tracée sur papier, quelquefois sur métal et plus rarement sur ivoire ; elle porte des chiffres renversés qui sont redressés par la lunette et le miroir. La lunette doit être placée *au dessous* de l'échelle pour éviter que son corps fasse ombre sur les divisions ; c'est ordinairement une simple lunette astronomique dont l'objectif achromatique a au moins 2,5 à 3 cm de diamètre, munie d'un

oculaire *positif* ayant un champ aussi grand que possible ; un réticule placé devant l'oculaire sert de point de repère.

Le grossissement de la lunette doit être tel que l'image des divisions soit autant que possible de même grandeur que sur l'échelle vue directement ; en effet, on a avantage à observer des divisions assez larges, car il est plus facile par exemple d'apprécier avec un peu d'habitude, le $\frac{1}{10}$ entre deux traits à 1 mm l'un de l'autre, que le quart entre deux traits distants de 0,5 mm ; ce fait dont il serait difficile



Fig. 17.

de donner une explication plausible, résulte de l'expérience ; toutefois, on ne doit pas oublier qu'à mesure que le grossissement augmente, le champ diminue ; or on a intérêt à avoir le champ le plus large possible. Par suite en pratique, on doit chercher, au moins pour les faibles distances entre l'échelle et le miroir (fig. 11), à avoir le grossissement de l'oculaire supérieur à

$$\frac{D_1 + D}{f},$$

f étant la distance focale de l'objectif.

Dans quelques instruments portatifs, pour conserver la sensibilité de la méthode, la lunette de la figure 11 est remplacée par un microscope, l'échelle placée beaucoup plus près du miroir a des divisions plus étroites ; l'ensemble donne sous une forme plus compacte les mêmes résultats que l'échelle ordinaire, mais est d'un emploi moins commode.

Pour la méthode de projection, on emploie soit des échelles opaques, soit des échelles transparentes. Les premières dont l'usage est de plus en plus abandonné, ont été surtout employées pour la télégraphie sous-marine ; elles se composent (fig. 17), d'une règle divisée sur papier, collée sur une planchette, le tout monté sur un support en bois, muni d'un volet articulé horizontalement qui permet de projeter sur l'échelle une ombre suffisante ; une fenêtre rectangulaire percée au centre du support et traversée par un fil fin vertical, formant réticule, est éclairée par derrière par une forte lampe à pétrole.

Le réglage et la mise en expérience se font de la façon suivante : l'échelle placée en face du miroir à la distance convenable, c'est à dire double du foyer du miroir, et de telle sorte que le plan horizontal passant par le miroir soit à la hauteur moyenne entre la fenêtre et l'échelle, on envoie la lumière de la lampe sur le miroir et on cherche la position du rayon réfléchi en déplaçant dans l'espace une feuille de papier blanc ; cette opération est grandement facilitée par l'obscurité presque complète qu'il est nécessaire d'avoir dans la salle pour se servir de cette méthode d'observation.

L'image réfléchie une fois trouvée, il ne reste plus qu'à l'avancer sur l'échelle, soit en déplaçant le miroir mobile de l'appareil observé, si cela est possible, soit en déplaçant l'échelle et la lampe par une série de petits mouvements permettant de suivre à chaque instant la position du rayon réfléchi. Quand l'image se forme bien sur l'échelle au point voulu, il ne reste plus qu'à la mettre au point en déplaçant le tout, échelle et lampe, dans la direction du rayon réfléchi ; comme la distance est à peu près connue par avance, le réglage ne porte que sur une faible longueur ; il est d'ailleurs facilité par ce fait que l'ouverture du miroir étant petite par rapport

à la distance, la profondeur du foyer est assez grande et une petite erreur dans la mise au point est inappréciable.

Il y a lieu de noter ici un inconvénient des miroirs à grand diamètre. Lorsqu'on observe de grandes déviations, telles que 250 à 300 mm sur une échelle placée à 1 m du miroir, la mise au point étant faite pour le zéro, c'est à dire pour la position où D est minima, l'image obtenue à l'extrémité de l'échelle est à une

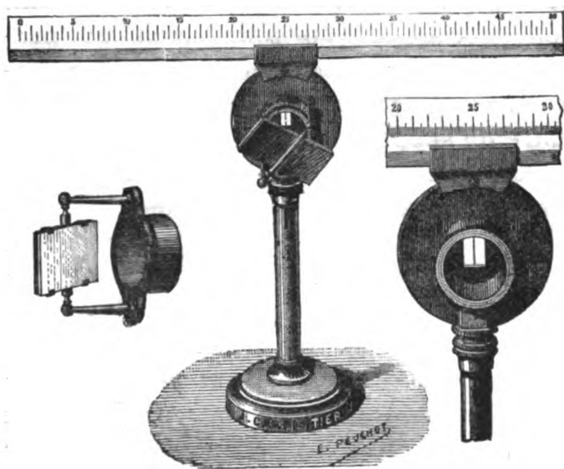


Fig. 18.

distance plus grande de 3 pour 100 ; il faut donc que la profondeur du foyer soit dans ce cas au moins égale à 3 pour 100. En pratique un miroir de 20 mm de diamètre cesse de donner de bonnes images dans ces conditions; il est préférable de s'arrêter à 15 mm. On peut aussi se contenter d'une netteté moyenne et mettre exactement au point pour le *milieu* de la course, c'est à dire sur 150 mm.

Aux échelles opaques, on a substitué depuis une quinzaine d'années déjà les échelles transparentes composées d'une règle divisée en celluloïd, en verre dépoli et en papier huilé montée sur un support convenable.

Dans le modèle très répandu, (fig. 18), la règle est en celluloïd ; elle coulisse horizontalement à la partie supérieure et permet d'amener une division quelconque en face du *spot* sans déranger toute l'échelle ; un écran noirci placé immédiatement au-dessous de la règle est percé d'une fenêtre rectangulaire traversée par un fil vertical ; un miroir plan, mobile en tous sens derrière cette fenêtre, sert à l'éclairer en prenant la lumière d'une source quelconque, lampe, bec de gaz, bougie, ou encore, ce qui dans bien des cas est plus commode, la seule lumière des nuées. Tout l'ensemble est monté sur un pied à coulisse qui facilite le réglage en hauteur.

La mise en expérience d'une échelle transparente est analogue à celle d'une échelle opaque. L'observateur, qui dans ce cas est placé *en face* de l'appareil étudié, a devant lui l'échelle à une distance convenable pour lui permettre la lecture facile des divisions ; il va sans dire que le galvanomètre ou l'appareil à miroir observé, a été placé à la distance voulue de l'échelle, distance généralement indiquée par le constructeur. L'*orientation* d'une échelle transparente n'est pas indifférente ; le grand avantage de cette disposition est de pouvoir être employée dans un milieu éclairé, mais il faut que la lumière arrive autant que possible parallèlement au plan de la règle divisée de façon à laisser celle-ci dans une obscurité relative ; par exemple, dans une chambre éclairée par une fenêtre latérale, il faut toujours placer la règle perpendiculaire à la fenêtre et orienter le galvanomètre en conséquence ; dans ces conditions, on peut généralement se contenter d'éclairer le *spot* au moyen de la lumière envoyée par la fenêtre et réfléchie par le miroir d'éclairement. Dans le cas où cette lumière serait insuffisante, il faudrait avoir recours aux procédés indiqués plus loin, mais en tenant bien compte qu'avec ce dispositif, il faut moins de différence entre *l'éclairement du spot* et *l'éclairement moyen de la salle* qu'avec la disposition des échelles opaques.

La position de l'appareil une fois déterminée par cette considération et par d'autres que nous verrons plus loin, l'observateur tourne la règle dans la direction du miroir, c'est a dire à 90° de sa position normale, vise

le long de la partie inférieure de cette règle et l'élève ou l'abaisse jusqu'à voir le miroir de l'appareil dans le prolongement de la ligne de visée ; à ce moment, si le miroir est bien vertical, le réglage en hauteur est à peu près obtenu. Ceci fait, l'observateur ramène l'échelle à sa position normale et, au moyen du miroir d'éclairage, il envoie la lumière sur le miroir mobile ; en regardant celui-ci par dessus l'échelle, il est facile de voir si ce résultat est obtenu, l'image réfléchie doit se trouver sur la règle ou dans le voisinage immédiat ; on l'aperçoit bien vite avec un peu d'habitude, en déplaçant l'œil derrière la règle ; par un dernier réglage en hauteur, on amène la règle à la position convenable et la mise au point se fait comme pour les échelles opaques.

Il ne faut pas être étonné de voir la mise au point, parfaite un jour, être assez mauvaise le lendemain ; il arrive très souvent, surtout avec les miroirs minces, des variations de courbure dues dans certains cas à la différence de dilatation linéaire entre le verre et le vernis qui protège l'argenture, dans d'autres cas, à l'hygrométricité de ce vernis.

Influence de l'inclinaison de la règle divisée. — Dans l'emploi du miroir, il est absolument nécessaire de régler l'échelle de telle sorte que le mobile étant au repos, le *rayon réfléchi* qui forme le spot lumineux dans la méthode de projection, ou le *rayon incident* qui part de la division observée par la lunette, soit perpendiculaire au plan de l'échelle ; *l'angle β du rayon incident ou du rayon réfléchi peut être quelconque* (fig. 19); il faut et il suffit que le rayon qui rencontre l'échelle fasse au repos un angle de 90° avec celle-ci ; en effet, dans ce cas seulement la déviation est représentée par

$$d = D \operatorname{tg} 2\alpha ;$$

il faut également si l'on veut mesurer un angle en valeur absolue, prendre la longueur D sur ce rayon, entre le miroir et l'échelle.

Ce que l'on cherche généralement dans les appareils à miroir, en dehors d'une sensibilité plus grande, c'est à obtenir des déviations angulaires à peu près proportionnelles aux phénomènes à mesurer. L'angle de déviation du miroir mobile, étant lui-même très petit, peut être considéré comme proportionnel à ce phénomène. Il faut donc que la déviation soit assez petite pour qu'on puisse écrire

$$D \operatorname{tg} 2\alpha = K\alpha,$$

Ce résultat ne peut être obtenu que pour des angles α inférieurs à 3 ou 4 degrés.

La plupart des échelles en usage ont une longueur de 50 cm et sont placées à une distance D = 1 mètre ; si le zéro est au milieu, la déviation maximum est : $\operatorname{tg} 2\alpha = 0{,}25$, c'est à dire $\alpha = 7°$ environ ; dans ces conditions, la proportionnalité comporte une erreur d'environ 2 pour 100. En limitant la déviation à 10 cm, l'erreur n'est plus que de 0,33 pour 100, et l'angle $\alpha = 3°$. On peut néanmoins prendre une déviation un peu plus grande, car il faut observer que les petites déviations sont entachées d'une erreur de lecture assez élevée ; en outre l'erreur provenant du défaut de proportionnalité peut être atténuée en prenant pour unité une déviation moyenne : les déviations plus petites indiqueront un chiffre trop faible, les plus grandes un chiffre fort et la plus grande erreur commise de ce chef sera ainsi réduite de moitié.

Si par exemple nous posons comme limite une erreur inférieure à 0,5 pour 100, il suffira de ne pas dépasser une déviation de 15 ou 17 cm à la distance D = 1 mètre.

Il est évident que si l'angle de l'échelle et du rayon réfléchi est différent de 90°, $\operatorname{tg} 2\alpha$ varie d'une façon différente et les erreurs de proportionnalité peuvent devenir très grandes sans que l'on en soit averti.

Les échelles avec lunettes comme celle de la figure 16, ont par construction deux plans perpendiculaires entre eux, l'un passant par l'axe optique de la lunette, l'autre parallèle ; il suffit donc, dans ce cas, de prendre pour zéro la division de l'échelle située dans le plan vertical de l'axe optique.

Lorsque l'échelle est séparée de la lunette,

ou avec les échelles à projection, le moyen le plus simple et le plus pratique à recommander consiste, une fois les réglages de hauteur et de foyer terminés, à placer l'angle droit d'une équerre contre la division servant de zéro actuel à l'appareil; l'un des côtés de l'équerre étant bien appliqué contre le plan de la règle on vise le miroir le long de l'autre côté; en faisant tourner l'échelle autour de son zéro, on amène la coïncidence entre le prolongement de l'arête de l'équerre et le miroir. Cette méthode de réglage ne laisse guère, avec un peu d'habitude, d'erreurs supérieures à 1°, ce qui est pratiquement négligeable.

§ II. ÉCLAIRAGE.

Avec l'échelle à lunette il faut, autant que possible, placer le plan de l'échelle à 45° environ avec la direction de la lumière, de façon à éclairer aussi bien que possible la division, et à éviter en même temps l'introduction directe de la lumière dans la lunette ou dans l'œil de l'observateur; il est bon également de protéger par des écrans, ou de noircir, les parties visibles de l'appareil observé, pour que des réflexions parasites ne viennent pas troubler l'image en la noyant dans la lumière diffuse.

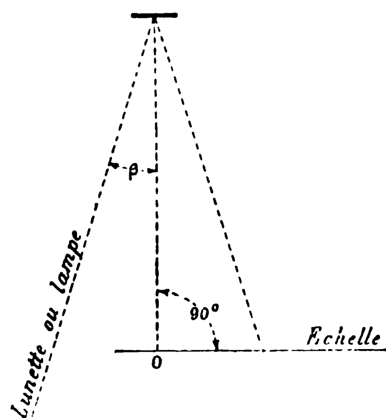


Fig. 19.

Avec les échelles à projection, il est souvent nécessaire d'employer une source de lumière artificielle pour éclairer la fenêtre; dans ce cas, on peut placer simplement la lumière, lampe ou bougie, derrière et très près de la fenêtre de l'échelle et diriger ses rayons sur le miroir mobile. C'est ce que l'on fait avec les échelles opaques, mais avec les échelles transparentes, il est plus simple de prendre la lumière où elle est, et de la réfléchir sur le miroir mobile, au travers de la fenêtre, par le moyen de la glace articulée placée en arrière.

Si la source lumineuse a une grande surface et est suffisamment éloignée de la fenêtre, on obtient un spot à peu près uniformément éclairé; au contraire, quand la lampe est placée très près de la fenêtre et que sa surface est petite, son image est donnée par le miroir mobile sur l'échelle, le spot n'est pas uniformément éclairé et il peut en résulter, par exemple dans l'emploi des lampes à incandescence, une certaine gêne pour l'observateur; dans ce cas, il est utile d'interposer une lentille entre la *fenêtre et la lampe*. Dans certains cas également, il est nécessaire d'obtenir un spot très vivement éclairé, pour montrer à un auditoire par exemple; là encore, il est nécessaire d'employer une lentille pour condenser la lumière.

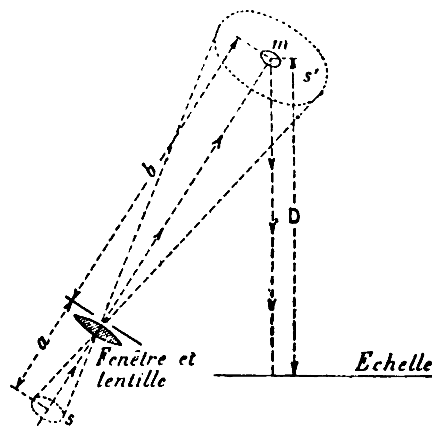


Fig. 20.

D'une manière générale, quelle que soit la position de la lentille entre la *lampe et la fenêtre*, la seule condition nécessaire pour obtenir un éclairement maximum et uniforme du spot est de choisir le foyer de la lentille, ou de la placer de telle sorte que la *lampe et le miroir*

mobile soient des *foyers conjugués* par rapport à celle-ci ; en d'autres termes, l'image de la source lumineuse donnée par la lentille doit venir se former sur le *miroir mobile* et non pas sur la fenêtre comme on est tenté de le faire souvent ; il est facile de s'assurer que cette condition est remplie en mettant très près du miroir une feuille de papier sur laquelle vient se former l'image de la lampe que l'on peut ainsi mettre au point.

Le moyen le plus commode avec les échelles transparentes, consiste à employer une lampe, d'un système quelconque, placée sur la table, à droite ou à gauche de l'observateur et autant que possible dans le plan de la règle; cette lampe sert en même temps à éclairer les différents appareils dont on se sert. Sur la table également, on place une lentille montée sur pied à coulisse, comme celles dont on se sert en optique pour les expériences de cours, de 20 à 50 cm de foyer ; en déplaçant cette lentille entre la lampe et l'échelle, on arrive facilement à mettre au point l'image de la flamme dans le plan du miroir. Une solution très générale et peut-être plus pratique, consiste à placer dans le barillet qui porte la glace d'éclairage, devant la fenêtre, une lentille bi-convexe ou plan convexe d'un foyer égal environ à la moitié de la distance entre l'échelle et le miroir ; avec cette disposition, il suffit de placer la lumière à une distance de la lentille égale à $2f$ au moins, pour que, quelle que soit cette distance, l'image de la lampe ne se forme pas sur l'échelle. Cette solution est très générale comme nous le disions, car elle permet d'employer les échelles qui en sont munies, sans aucun réglage spécial et dans tous les cas de la pratique, *mais elle ne donne pas le maximum d'éclairement.*

Pour obtenir un *éclairement* aussi intense que possible du spot, il faut disposer la lentille le plus près possible de la fenêtre, et employer une source lumineuse dont l'*éclat* soit aussi élevé que possible ; les distances a et b (fig. 20) de la lampe à la fenêtre, de celle-ci au miroir, n'ont aucune influence de même que la grandeur de la fenêtre, à moins toutefois que l'image de la lampe projetée sur le miroir, ne soit plus petite que celui-ci ; dans ce cas, on a intérêt à diminuer le foyer de la lentille L, de façon à grossir plus l'image de la lampe.

Soit S (fig. 20), une surface lumineuse d'éclat E, projetant dans la direction du miroir un flux de lumière

$$sE,$$

la fenêtre, dont la surface est S, en recueille une fraction seulement égale à

$$\frac{sES}{2\pi a^2},$$

(en supposant que la lentille L se confonde avec la fenêtre).

Cette lumière va former l'image de la lampe dont la surface apparente est s'

$$s' = s\frac{b^2}{a^2},$$

l'*éclairement* de cette image est donc

$$\frac{sES}{s' 2\pi a^2} = \frac{ES}{2\pi b^2}.$$

La portion du flux lumineux recueillie par le miroir et qui doit produire l'*éclairement du spot* est proportionnelle à la surface m du miroir ; d'autre part, la surface du spot est égale à celle de la fenêtre, multipliée par le grossissement donné par le rapport $\frac{D}{b}$; il vient finalement, par l'éclairement du spot

$$\frac{mE}{D^2}.$$

Dans cette équation n'entrent ni les distances a et b, ni la *puissance lumineuse* de la lampe employée ; pour obtenir le plus grand éclairement possible, il faut et il suffit que le rapport $\frac{b}{a}$ soit assez grand pour que la surface entière m du miroir soit couverte ; autrement il faudrait remplacer m par la surface s occupée par l'image sur le miroir ; celle-ci étant évidemment plus petite que m, l'éclairement du spot est bien maximum lorsque l'image couvre entièrement le miroir.

Ces considérations expliquent bien pourquoi, à la seule condition d'avoir une lentille

L de foyer assez court, pas trop épaisse pour ne pas absorber trop de lumière, on obtient un spot plus éclairé avec une simple lampe à incandescence de 2 bougies qu'avec un brûleur à gaz intensif ou une grosse lampe à pétrole ; c'est que l'*éclat* de la lampe à incandescence est supérieur à celui des lampes ordinaires ; le résultat est évidemment encore meilleur, pour la même raison, avec l'arc électrique ou la lumière solaire.

H. ARMAGNAT

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA POLARISATION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE

Dans ce travail, je me suis occupé spécialement des milieux *colorés*, placés dans un champ magnétique, en m'attachant à étudier autant que possible, les propriétés optiques pour les radiations absorbées. J'ai été conduit à entreprendre ces recherches par un travail sur la polarisation rotatoire naturelle des milieux colorés. Ce travail, qui vient d'être publié ([1]), a pour conclusions :

1° Pour tous les liquides colorés dont l'étude a pu être faite, on voit la courbe représentant le pouvoir rotatoire en fonction de la longueur d'onde (courbe de dispersion rotatoire) s'écarter, dès qu'on pénètre dans une bande d'absorption, de la courbe qu'on obtiendrait avec un corps transparent.

2° Il existe *certains* liquides actifs colorés absorbant inégalement un rayon « circulaire droit » et un rayon « circulaire gauche ». Ces milieux déforment une vibration qui s'y propage, changeant par exemple une vibration rectiligne en une vibration elliptique, qui est d'autant plus renflée que les deux absorptions diffèrent davantage. Ils sont analogues aux cristaux dichroïques, comme la tourmaline, qui absorbent inégalement le rayon ordinaire et le rayon exraordinaire.

Je me suis alors demandé si on pouvait étendre ces résultats à la polarisation rotatoire magnétique. Différents savants ont en effet établi expérimentalement que dans un milieu aimanté, deux vibrations circulaires, l'une ayant le sens du courant magnétique, l'autre le sens contraire, se propagent avec des vitesses différentes. J'ai donc placé dans un champ magnétique des milieux colorés traversés par un rayon lumineux parallèle aux lignes de force ; j'ai mesuré pour diverses radiations le pouvoir rotatoire, et j'ai recherché si l'absorption des deux rayons circulaires était la même.

MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

1. PARTIE OPTIQUE. — Je pouvais étudier ces deux questions à l'aide du même dispositif expérimental, et par deux opérations tout à fait pareilles. Je n'indiquerai ici que le principe de cette méthode qui est celle que j'avais appliquée à l'étude des corps naturellement actifs ([1]).

Elle est fondée sur un procédé très sensible pour mettre en évidence une vibration elliptique très aplatie. J'emploie une lame à teinte sensible de Bravais (ou une lame semblable d'épaisseur différente), placée entre deux nicols; mais au lieu d'observer ses colorations, je projette une image de cette lame sur la fente d'un spectroscope. J'observe alors dans le spectre une frange noire (de Fizeau et Foucault) qui se coupe en deux parties correspondant aux deux moitiés de la lame, pour peu que la lumière incidente devienne elliptique.

Mesure des rotations. — Un quart d'onde (parallélipipède de Fresnel) est disposé entre le polarisateur et cette lame : on le règle de façon que la lumière qui le traverse reste rectiligne. Si on fait tourner alors le polariseur la lumière devient elliptique, la frange se coupe. Le même fait se produit, lorsque,

([1]) « Recherches sur l'absorption et la dispersion de la lumière par les milieux doués du pouvoir rotatoire ». Thèse pour le doctorat. Paris (Gauthier-Villars).

([1]) Pour tous les détails, le règlage de l'appareil, etc..., se reporter au Mémoire cité plus haut.

sans toucher au polariseur, on interpose un corps actif. Pour mesurer la rotation produite; il suffit de tourner le polariseur de façon à ramener en coïncidence les deux moitiés de la frange.

Si c'est un pouvoir rotatoire magnétique qu'il s'agit de mesurer, on fait deux fois cette opération en lançant successivement le courant dans les deux sens opposés : on mesure ainsi directement le double de la rotation.

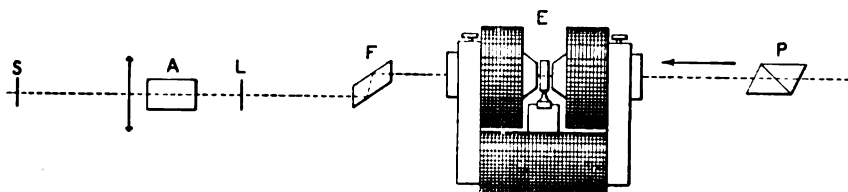


Fig. 1. — Disposition de l'appareil employé pour la mesure du pouvoir rotatoire magnétique.

La lame cristalline employée était, soit la lame de Bravais donnant en nicols croisés une seule frange dans le jaune, soit une lame de quartz *parallèle à l'axe*, donnant deux ou trois franges dans le spectre visible. Les longueurs d'onde des franges obtenues (nicols croisés ou nicols parallèles) ont été déterminées avec grand soin à l'aide d'un réseau et d'un goniomètre de Brünner, et contrôlées par la comparaison avec les résultats de M. Macé de Lépinay. (*Journal de Physique*, 1885.)

La figure 1 représente l'appareil, ainsi disposé pour une mesure de pouvoir rotatoire magnétique. Un faisceau de *lumière solaire*, provenant d'un héliostat, traverse d'abord le nicol polariseur P, que l'observateur peut faire tourner, tout en regardant au spectroscope, à l'aide d'une tige et d'un joint à la Cardan ; puis la cuve renfermant le liquide à étudier, placée entre les armatures d'un électroaimant E ; enfin le quart d'onde F, la lame L et l'analyseur A. Une lentille achromatique projette une image nette de la lame sur la fente d'un spectroscope.

L'appareil ainsi réalisé présente les mêmes avantages et la même sensibilité que celui employé par Lütge, Von Lang, Guye, etc. et consistant en un biquartz, formé de deux quartz *perpendiculaires à l'axe*, et de rotations inverses, dont on observe les franges au spectroscope (mais les lames employées sont beaucoup plus minces, de sorte que la ligne noire séparant les deux spectres juxtaposés que l'on observe, est très nette et très fine). Lorsque le liquide est très absorbant, on peut élargir la fente du spectroscope, de façon à distinguer les franges aussi nettement que possible, et on peut ainsi faire des mesures qui seraient impossibles par la méthode du pointé des franges.

Les lectures de la position du polariseur

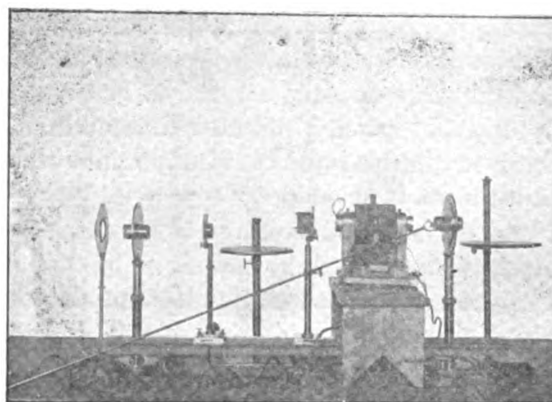


Fig. 1 (*bis*). — Vue de l'appareil.

correspondant à un même sens du courant n'ont jamais présenté entre elles, dans les mesures qui vont être rapportées, d'écarts supérieurs à 12 minutes; même pour les régions du spectre où l'absorption était très sensible : elles ne différaient de la valeur moyenne que de 6 minutes au plus. Comme on mesure en réalité le double de la rotation c'est ce nom-

bre 6 minutes qui représente à peu près l'erreur maximum commise sur les mesures des rotations. Bien entendu cette erreur était bien moindre lorsqu'il s'agissait d'un liquide transparent, car les franges apparaissent alors comme des bandes très étroites et bien noires, légèrement estompées sur les bords, et on observe avec beaucoup plus de précision leur coïncidence.

Inégalité d'absorptions.— Cet appareil permet de voir immédiatement si un liquide absorbe inégalement les deux vibrations circulaires. Il suffit de ramener les franges en coïncidence et de voir si cette coïncidence persiste lorsqu'on interpose, entre le quart d'onde F et la lame L, le liquide à étudier. Si le liquide polarise elliptiquement, on voit les franges se couper. De la rotation du polariseur φ nécessaire pour les ramener en place, on déduit immédiatement la forme de l'ellipse produite (rapport des axes, tang φ), et par suite le rapport entre les intensités primitivement égales de deux rayons droit et gauche.

Dans le cas de la polarisation rotatoire magnétique, pour rechercher cette inégalité d'absorptions, on établit la coïncidence des franges pour un sens déterminé du courant, après avoir placé l'électroaimant et la cuve entre le quart d'onde et la lame ; puis on recherche si la coïncidence persiste lorsqu'on change le sens du courant. Pour faire plus commodément cette expérience après les mesures de rotation magnétique, je laissais l'électroaimant en place et je déplaçais le quart d'onde.

2. Champ Magnétique. — L'électroaimant employé a été, soit un électroaimant ordinaire de Ruhmkorff, soit un électroaimant beaucoup moins encombrant représenté dans la figure 1.

Les armatures cylindriques sont terminées d'un côté par des extrémités tronc-coniques, de l'autre par des faces planes ; j'ai disposé en regard l'une de l'autre les extrémités tronc coniques. Le canal pratiqué dans les armatures pour le passage du rayon lumineux était assez petit pour que le champ soit bien uniforme.

Le courant était fourni par une batterie d'accumulateurs, et traversait, outre l'électroaimant, une résistance supplémentaire empruntée à un tableau de résistances. Il y a avantage à augmenter autant que possible cette résistance auxiliaire (en prenant en tension tous les accumulateurs disponibles), parce que les fils de maillechort qui la constituent, se refroidissent à l'air beaucoup plus rapidement que les bobines de l'électroaimant. Le courant demeure par suite bien plus constant pendant une série de mesures. D'ailleurs il traversait, à côté de l'observateur, un ampèremètre et un rhéostat auxiliaire d'un ohm avec lequel on pouvait au besoin ramener l'intensité du courant à une valeur déterminée (10 ampères).

Cette constance du courant n'était d'ailleurs pas indispensable, parce que les mesures elles-mêmes renseignaient, dans chaque cas, sur la valeur du champ : Après avoir placé dans l'électroaimant la cuve renfermant le liquide à étudier. et fait une mesure de rotation, je vidais la cuve, et après l'avoir lavée à l'eau distillée et essuyée avec du papier Joseph, je la remplissais de sulfure de carbone, pour lequel je déterminais la rotation ; puis je remplissais à nouveau la cuve du liquide à étudier et je recommençais la mesure. Ces opérations étaient d'ailleurs répétées plusieurs fois. Le support de la cuve s'engageait dans une rainure qui permettait de la mettre immédiatement en place, bien normalement au faisceau.

La cuve que j'ai utilisée est une des cuves qui avaient servi à Verdet : elle est formée par une couronne de verre douci de 10 mm d'épaisseur, sur laquelle s'appliquent deux glaces minces à faces parallèles, de verre *non trempé*. Bien que ces lames fussent minces, leur pouvoir rotatoire magnétique doit être retranché, dans chaque mesure de rotation, du nombre trouvé. J'ai mesuré directement, pour quelques-unes des radiations employées, ces rotations propres de la cuve vide. Mais comme elles sont faibles, j'ai fait d'autres expériences pour les déterminer : J'ai mesuré

les rotations de la cuve, 1° pleine de sulfure de carbone, 2° pleine d'eau distillée. Le rapport des rotations magnétiques de ces deux corps étant bien connu, ainsi que leur mode

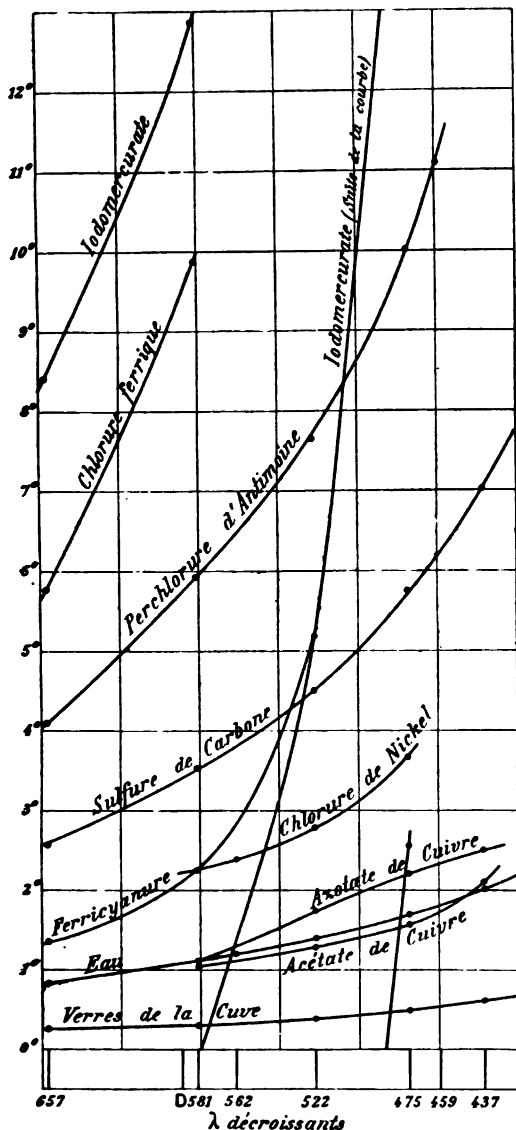


Fig. 2.

de dispersion, depuis les mesures de Verdet et de M. Henri Becquerel, faites sur de longues colonnes de liquide, je pouvais déduire des résultats de ces deux mesures, l'influence propre de la cuve. Les nombres ainsi trouvés, qui concordent avec les mesures directes, ont été trouvés, à 2 minutes près, identiques à ceux qu'on avait calculés d'après l'épaisseur des lames et en admettant pour le rapport des rotations du crown et du sulfure de carbone, la valeur 0,48 donnée par M. Henri Becquerel.

RÉSULTATS RELATIFS A LA DISPERSION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE

J'ai étudié, par cette méthode, un certain nombre de composés dissous, et des liquides colorés artificiellement par simple mélange.

Ces derniers milieux ne m'ont donné aucun résultat intéressant : En effet, le pouvoir rotatoire d'une substance transparente ne change pas sensiblement lorsqu'on y ajoute une matière colorante dont la rotation propre est négligeable. Ainsi je n'ai pas observé de variations dans le pouvoir rotatoire, pour diverses radiations, du sulfure de carbone, lorsque j'y dissolvais quelques paillettes d'iode, de façon à colorer fortement le liquide. J'avais constaté le même fait pour la polarisation rotatoire naturelle : Lorsqu'on mélange deux corps colorés ou non, *sans action chimique l'un sur l'autre*, les rotations s'ajoutent simplement comme si les deux milieux étaient placés dans des cuves séparées.

Parmi les composés colorés étudiés, beaucoup ne m'ont donné aucun résultat, parce que l'absorption était trop grande pour faire de bonnes mesures : Lorsqu'on avait assez réduit l'épaisseur et la concentration pour distinguer nettement les franges, le pouvoir rotatoire propre du composé à étudier était insensible.

De plus, je n'ai pas pu, comme dans les recherches que j'avais faites sur certains corps actifs, faire des mesures de pouvoir rotatoire *dans toute l'étendue* d'une bande d'absorption ; j'ai dû me contenter d'y pénétrer le plus possible.

La plupart des corps étudiés sont des dissolutions : dans les résultats que je vais rapporter, je n'ai fait d'autre correction que celle relative à l'influence des parois de la cuve, et quand cela était nécessaire, celle qui était relative à la valeur du champ magné-

tique. Je n'ai pas retranché des nombres trouvés la rotation propre du dissolvant, puisque je recherchais, non pas la rotation spécifique de chaque composé, mais le mode de dispersion de la solution colorée.

Les liquides pour lesquels je rapporterai les résultats des mesures sont les suivants :

Sulfure de carbone.

Eau distillée.

Perchlorure d'Antimoine (coloré en jaune).

Liqueur de Thoulet (iodure mercurique dissous dans un iodure alcalin). Ce liquide est remarquable par la grandeur de son pouvoir rotatoire magnétique, c'est celui que MM. Cornu et Potier ont utilisé dans leurs recherches sur les lois de la polarisation rotatoire magnétique (*Journal de Physique*, 1885 et 1886). La liqueur que j'ai étudiée était un iodomercurate de sodium en solution très concentrée, densité 3,10 environ. Placée dans l'air sec, elle cristallisait presqu'aussitôt en cristaux jaunes mélangés d'un peu d'iodure de mercure rouge et ne perdait que très peu d'eau : (14 gr.,61 n'ont perdu au bout de plusieurs semaines que 1 gr. 73 d'eau). Cette liqueur est fortement colorée en jaune, et sous l'épaisseur de 1 cm, on ne peut pas faire de mesures au delà de la frange de longueur d'onde 0,475 μ.

Perchlorure de fer. La solution que j'ai étudiée est la solution (colorée en rouge brun) de chlorure ferrique *anhydre* dans l'alcool méthylique, que Verdet avait signalée pour la grandeur de son pouvoir rotatoire magnétique négatif (55 parties de chlorure anhydre, 45 parties d'alcool méthylique). La dispersion rotatoire des solutions de chlorure ferrique a été déjà étudié par M. Henri Becquerel [1] les nombres qu'on trouvera plus loin sont tout à fait d'accord avec ceux qu'il avait déduit de mesures faites avec la lumière rouge et la lumière jaune du sodium.

Ferricyanure de potassium (30 parties de sel, 70 d'eau distillée, densité 1,18 environ), pouvoir rotatoire négatif ;

Azotate de cuivre (solution saturée dans l'eau distillée).

Acétate de cuivre id.

Chlorure de nickel id.

Le tableau I renferme les résultats obtenus

TABLEAU I

Longueurs d'onde ($\mu\mu$)	657	581,5	562	522	475	459,5	437
Rotations produites par la cuve vide	15′	18′	19′	23′	30′	32′	36′
1 cm sulfure de carbone.	2°34′	3°31′	»	4°29′	5°45′		7°1′
Eau distillée	49′	1°6′	1°12′	1°24′	1°41′		2°1′
Perchlorure d'antimoine	4°6′	5°40′	»	7°38′	10°2′	11°5′	—
Iodomercurate	8°25′	12°51′	»	18°12′	28°18′	—	—
Perchlorure de fer......	5°46′	9°53′	—	—	—	—	—
Ferricyanure de potassium	1°21′	2°14′	»	5°12′	—	—	—
Azotate de cuivre..... .	—	1°6′	»	1°44′	2°11′	»	2°30′
Acétate de cuivre.......	—	1°2′	»	1°17′	1°34′	»	2°6′
Chlorure de nickel	—	2°15′	2°23′	2°47′	3°39′	—	—

pour une épaisseur de 1 cm et un champ correspondant à un courant de 10 ampères, qu'il est facile de calculer en partant de la rotation produite par le sulfure de carbone.

Ce tableau renferme les valeurs *absolues* des rotations, quel que soit leur sens, corrigées de l'influence des parois de la cuve. Les traits horizontaux indiquent les radiations pour lesquelles les mesures ont été impossibles à cause de l'absorption trop grande.

La figure 2 représente ces résultats. La courbe relative à l'iodomercurate de sodium pour lequel les rotations sont si grandes a dû être figurée en plusieurs morceaux.

Le simple examen de cette figure montre

[1] HENRI BECQUEREL. *Ann. de Ch. et Ph.*

que non seulement les valeurs absolues des rotations changent beaucoup d'un corps à l'autre, mais que les différents corps étudiés ont des lois de dispersion rotatoire très différentes. On s'en rend mieux compte encore en examinant le tableau suivant (II) où l'on a pris pour unité dans chaque cas, la rotation correspondante à la frange, située dans l'orangé dans le voisinage de la raie D, de longueur d'onde 581,5. On y a joint les rapports que l'on trouverait si les rotations variaient en raison inverse des carrés, et des quatrièmes puissances des longueurs d'onde.

TABLEAU II

Longueurs d'onde ($\mu\mu$)	657	581,5	562	522	475	459,5	437
Rapports $\left(\frac{581,5}{\lambda}\right)^4$	0,614	1	1,146	1,54	2,246	2,605	3,134
$\left(\frac{581,5}{\lambda}\right)^2$	0,783	1	1,071	1,240	1,499	1,601	1,77
Sulfure de carbone	0,730	1	»	1,275	1,635	»	1.995
Eau	0,742	1	1.09	1.273	1,530	»	1,833
Perchlorure d'antimoine	0,724	1	»	1,347	1,771	1,956	—
Iodomercurate	0,655	1	»	1,403	2,209	—	—
Perchlorure de fer......	0,583	1	—	—	—	—	—
Ferricyanure de potassium	0,605	1	»	2,328	—	—	—
Azotate de cuivre	—	1	»	1,576	1,985	»	2,273
Acétate de cuivre	—	1	»	1,242	1.516	»	2,03
Chlorure de nickel	—	1	1,06	1,237	1,622	—	—

On voit que ces liquides colorés ont des lois de dispersion rotatoire qui diffèrent beaucoup les unes des autres, et qui s'écartent beaucoup plus de la loi du carré des longueurs d'onde que les liquides dont l'absorption est insensible pour les radiations visibles.

(A suivre) M. COTTON

Maitre de conférences
à la Faculté des Sciences de Toulouse.

L'ÉLECTRICITÉ
A L'EXPOSITION NATIONALE SUISSE

LE TRANSPORT DE FORCE CHÈVRES-GENÈVE (1)

—

LA LIGNE

La ligne diphasée qui relie l'usine génératrice de Chèvres à celle de la Coulouvrenière située à Genève même, est une ligne souterraine à quatre conducteurs. Après avoir longé le Rhône sur un parcours d'un kilomètre, elle traverse presque en ligne droite le plateau qui domine le village d'Aïre et le quartier de St-Jean et vient aboutir en face de l'usine de la Coulouvrenière située sur l'autre rive du Rhône.

Cette ligne présente un intérêt particulier par sa construction originale et nouvelle. Sa longueur totale est de 6 kilomètres environ ; elle est divisée en cinq tronçons dont les extrémités viennent aboutir à l'intérieur de petites cabanes, placées approximativement de kilomètre en kilomètre. Les connections entre les divers tronçons sont faites à l'intérieur de ces constructions ; le fractionnement de la ligne permet de l'étudier avec tranquillité et sécurité dans ses diverses parties, il est aisé de déterminer par exemple la place où peut se produire une faute avec beaucoup plus de précision que si l'on opérait sur la longueur totale de la ligne.

La figure 1 représente la section de la ligne. Les conducteurs sont placés à l'intérieur d'un canal en béton ayant environ 40 cm de largeur et 35 cm de profondeur ; la partie supérieure de ce canal se trouve à près de 50 cm

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 385 ; 30 mai 1896.

au-dessous de la surface du sol ; il est ainsi soustrait aux causes de détérioration qui pourraient provenir du gel.

La matière isolante est un mélange compact de gravier desséché et de brai de goudron, qui remplit le canal et dans lequel sont plongés les quatre conducteurs.

Le rôle du gravier dans ce mélange est d'augmenter considérablement le volume de la matière isolante. En permettant de diminuer la proportion de brai, il abaisse donc très notablement le prix de revient du mètre cube d'isolant, tout en conservant au mélange une résistance spécifique suffisante.

Afin d'être plus élastique, le brai est lui-même mélangé à chaud avec une certaine proportion d'huile de vaseline ; ainsi préparé, il constitue alors une matière, pour ainsi dire, inaltérable, qui se moule dans les interstices du gravier et remplit le canal en entourant les conducteurs.

Avant d'être mélangé au brai, le gravier était préalablement desséché dans des chaudières transportées à cet effet sur l'emplacement, même lors de la construction de la ligne.

Le mélange était donc effectué sur place et versé chaud dans le canal, immédiatement après la pose des conducteurs.

Malgré toutes les précautions prises, il s'est glissé parfois dans le mélange quelques corps étrangers, ou même un peu d'humidité, particulièrement lorsque la ligne devait être construite par un temps pluvieux, ce qui a occasionné quelques pertes pendant les premiers temps du fonctionnement.

Mais ces places défectueuses ont été corrigées avec soin et depuis fort longtemps, aucun accident ne s'est plus produit.

Les résultats peuvent donc être considérés dès aujourd'hui comme très satisfaisants ; mais ce n'est naturellement qu'avec le temps qu'il sera permis de porter un jugement tout à fait définitif sur la valeur réelle de ce mode d'isolation.

Il était très important de réduire au minimum l'influence perturbatrice des phénomènes d'induction et les chutes de voltage qui en résultent ; on sait en effet combien la réactance d'une ligne peut augmenter les difficultés de réglage et la tension nécessaire des génératrices.

On sait également qu'en diminuant la self-induction d'une ligne, non seulement on réduit la chute de voltage, mais on tend à augmenter le rendement du transport puisque toutes conditions égales, le décalage entre la tension et le courant est moindre.

Il fallait donc dans l'étroite section du canal disposer les conducteurs de façon à atténuer autant que possible ces influences.

On y est arrivé en employant le dispositif représenté (fig. 1).

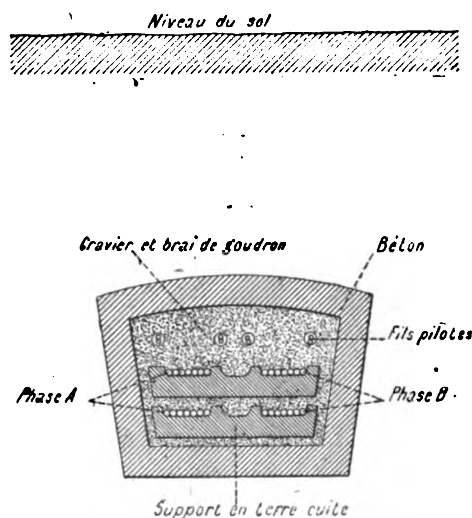


Fig. 1. — Section de la ligne de Chèvres à la Coulouvrenière.

Les quatre conducteurs sont formés chacun de sept torons dont la section totale est de 490 mm² ; ils sont maintenus à distance invariable les uns des autres au moyen de pièces en terre cuite imprégnées de brai et placées de distance en distance. Tout rapprochement et tout contact entre les divers conducteurs est donc rendu impossible.

Grâce à la disposition très étalée de la section de chaque conducteur, il est facile de voir qu'il ne peut y avoir de cuivre inactif, comme cela pourrait avoir lieu dans les fibres centrales d'un câble unique à base circulaire

de même section. Mais cette disposition étalée avait surtout l'avantage de réduire le coefficient de self-induction de chaque phase, étant donnée la distance minimum à laquelle il était permis de rapprocher les conducteurs d'aller et de retour.

Quant au coefficient d'induction mutuelle des deux phases, il est très faible ; il a d'ailleurs une importance secondaire dans le dispositif du transport de Chèvres, attendu que d'une part l'excitation séparée des génératrices rend chaque phase plus indépendante comme nous l'avons vu, et que d'autre part, les effets d'induction mutuelle peuvent être presque annulés en connectant convenablement les conducteurs de chaque tronçon à l'intérieur des cabanes.

Grâce à l'étalement de la section du cuivre le coefficient de self-induction d'une phase a pu être abaissé à 0,0032 henry et celui d'induction mutuelle de deux phases à 0,00020 henry et ceci dans l'hypothèse la plus défavorable, c'est à dire dans le cas où les conducteurs ne seraient pas croisés à chaque tronçon.

Les formules que j'ai données sur la moyenne distance géométrique et le calcul des coefficients d'induction des conducteurs multiples ont permis d'ailleurs de calculer ces coefficients très exactement. [1]

Il est très difficile de se prononcer sur la valeur exacte de la capacité de la ligne ; elle est évidemment plus grande que celle d'une ligne aérienne mais probablement inférieure à celle de la plupart des câbles concentriques. On pourrait d'ailleurs s'en faire une idée approchée en assimilant l'intérieur du canal de béton à une armature au potentiel zéro, et en employant les méthodes de calcul approché de Maxwell ; mais les expériences directes seraient plus sûres et plus rapides.

DISTRIBUTION

Actuellement la ligne est encore très loin de fonctionner à pleine charge ; elle ne transmet guère que 1 500 chevaux dont 1 200 sont distribués comme force et lumière à l'intérieur de l'Exposition et 300 pour l'éclairage de la ville.

A son arrivée à l'usine de la Coulouvrenière, le courant de Chèvres est dirigé dans plusieurs réseaux.

Il alimente d'abord directement l'ancienne canalisation d'éclairage alternatif qui dessert les abonnés de la ville. Avant l'inauguration de l'usine de Chèvres, ce réseau était desservi, comme on sait, par des machines alternatives monophasées, placées à l'usine de la Coulouvrenière ; nous en avons donné la figure dans notre article du 26 janvier ; les machines se trouvent donc actuellement inutilisées et restent là comme réserve en cas de besoin urgent.

Une seconde fraction du courant de Chèvres est envoyé par câbles concentriques à la station centrale de l'Isle qui, primitivement, ne fournissait que du courant continu aux abonnés des quartiers centraux de la ville. Depuis quelques mois, elle reçoit donc le courant diphasé de Chèvres qu'elle transforme à la station de 500 volts. C'est de cette station que part actuellement le nouveau réseau pour l'éclairage des rues de la ville par arc voltaïque. Cet éclairage comprend actuellement un développement de 8 km, alimentant 160 lampes réparties autant que possible en nombre égal sur l'une et l'autre phase. Chaque candélabre, porteur d'une lampe à arc, est muni lui-même d'un transformateur qui abaisse la tension de 500 à 40 volts, de sorte que chaque arc brûle sous cette dernière tension en consommant un courant de 15 ampères.

Indépendamment de l'éclairage des rues, le réseau diphasé à 500 volts est destiné surtout à la distribution ultérieure de force dans les divers quartiers de la ville ; mais ce service ne commencera que plus tard et pour le moment une grande partie du courant diphasé de Chèvres, que reçoit la station centrale de l'Isle, est transformé en courant continu à 220 volts au moyen de machines commutatrices fournies par la maison Alioth, de Bâle.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. III, p. 20 ; Coefficients d'induction des conducteurs multiples.

Ce supplément de courant continu est alors dirigé dans l'ancien réseau à trois fils d'éclairage à courant continu, dont nous avons parlé déjà.

Enfin l'usine de Chèvres fournit une partie de la force motrice et la lumière à l'Exposition.

Le plan ci-contre (fig. 2) permettra au visiteur de l'Exposition de se rendre compte du système général de distribution.

Un câble principal diphasé, venant de la Coulouvrenière, amène le courant à la halle des machines sous une tension de 2 400 volts. Ce câble est souterrain ; il est, en réalité, formé de 4 câbles concentriques (2 par phase)

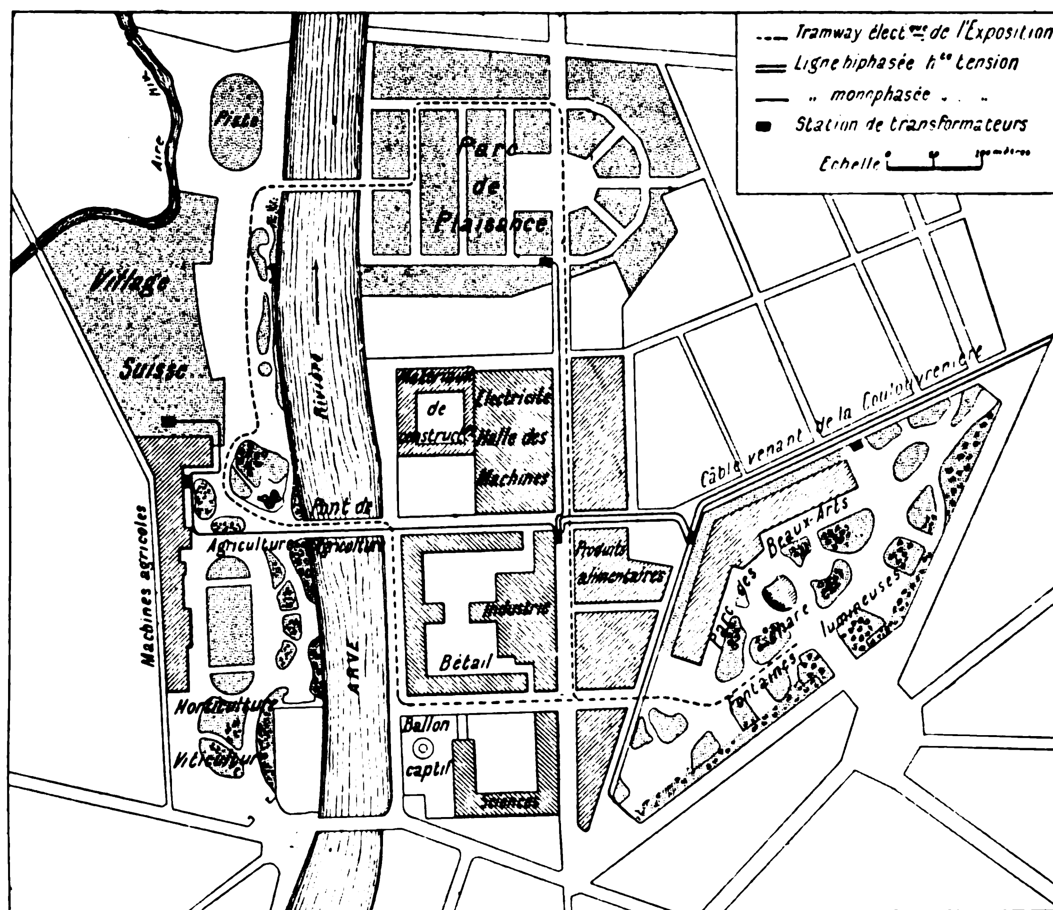


Fig. 2. — Plan de l'Exposition nationale suisse.

ayant chacun 50 mm² de section par conducteur, ce qui donne un total de 400 mm². C'est de ce câble principal que se détachent un certain nombre de câbles monophasés, destinés uniquement à l'éclairage et qui conduisent le courant primaire dans les diverses parties de l'Exposition, Parc des Beaux Arts, Parc de Plaisance, Parc de l'Agriculture et Village suisse.

Sur ces câbles primaires sont alors placées les stations de transformateurs dont les circuits secondaires étendent leurs ramifications dans toutes les parties de l'Exposition.

Il n'est pas sans intérêt de dire, en terminant, quelques mots sur la façon dont se répartit l'énergie électrique fournie à l'Exposition.

C'est d'abord la halle des machines, qui absorbe 884 chevaux électriques indépendamment de la force motrice fournie par de

puissantes machines à vapeur. Les principales expositions des fabriques de dynamos absorbent la majeure partie de cette puissance électrique. L'exposition de la Cie de l'Industrie électrique de Genève consomme à elle seule 400 kw; celle de la fabrique d'Oerliken 150 et la maison Alioth, de Bâle, 100.

L'éclairage des fontaines lumineuses du Parc des Beaux Arts nécessite 80 chevaux et les pompes qui actionnent les jets, 140 chevaux. Quant à l'éclairage électrique même, le Parc de Plaisance, le Village suisse et le Parc de l'Agriculture consomment respectivement 80, 50 et 30 kw environ.

Enfin pour être complet, il faut ajouter l'énergie absorbée par le phare tournant du dôme central et par le tramway électrique dont le tracé est indiqué sur la figure 2 et l'on aura une idée complète de la puissance électrique consommée à l'Exposition.

Telle est donc, dans son état actuel, l'utilisation électrique des forces motrices du Rhône à Genève. Comme on le voit, la distribution de force et de lumière présente, pour le moment, une hétérogénéité assez grande, soit par le fait des circonstances temporaires résultant de l'Exposition, soit aussi par le fait qu'on a été obligé de tenir compte, dans une large mesure, des conditions antérieures et des canalisations déjà existantes, pour ne pas augmenter inutilement les frais de première installation. Mais avec le temps on peut espérer arriver à une unification plus grande dans la distribution et à une simplification du service, que complique naturellement le caractère provisoire de l'Exposition.

Notre prochain article donnera le compte rendu des principales curiosités et nouveautés électriques que l'on peut signaler à l'Exposition de Genève.

Ch. Eug. Guye,

Professeur agrégé à l'Ecole Polytechnique de Zurich.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Fonte d'acier pour dynamos.

Il est important de pouvoir produire couramment pour la construction des dynamos un bon métal magnétique présentant une grande perméabilité et peu d'hystérésis. Jusqu'à présent, les fontes d'acier doux de certains fabricants anglais étaient réputées les meilleures. Or, voici que la maison Krupp produit aussi un acier fondu de très bonnes qualités magnétiques.

Voici, en effet, les résultats des essais du professeur Ewing, sur un échantillon de ce métal, résultats publiés par l'*Elektrotechnische Zeitschrift*.

La courbe de l'induction, avec l'indication des points d'observation, est représentée dans la figure 1.

(*a*) est la courbe totale jusqu'à la limite de H = 153 unités C.G.S., (*b*) représente à une plus grande échelle le début de la courbe. Le tableau ci-dessous donne, à côté des valeurs de cette courbe, celles de la perméabilité μ.

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{H}$	μ
1 000	0,88	1 140
2 000	1,18	1 690
3 000	1,43	2 100
4 000	1,66	2 410
5 000	1,90	2 630
6 000	2,15	2 790
7 000	2,45	2 860
8 000	2,83	2 830
9 000	3,34	2 700
10 000	4,05	2 470
11 000	5,10	2 160
12 000	6,65	1 810
13 000	8,8	1 480
14 000	13,0	1 080
15 000	19,8	760
16 000	36	445
17 000	72	236
18 000	124	145

La figure 2 donne ensuite la courbe d'hystérésis, montrant que la force coërcitive est

de 1,8 et l'induction rémanente de 9 340 unités.

M. Ewing conclut que ce métal est excellent pour la construction des électros de dynamos,

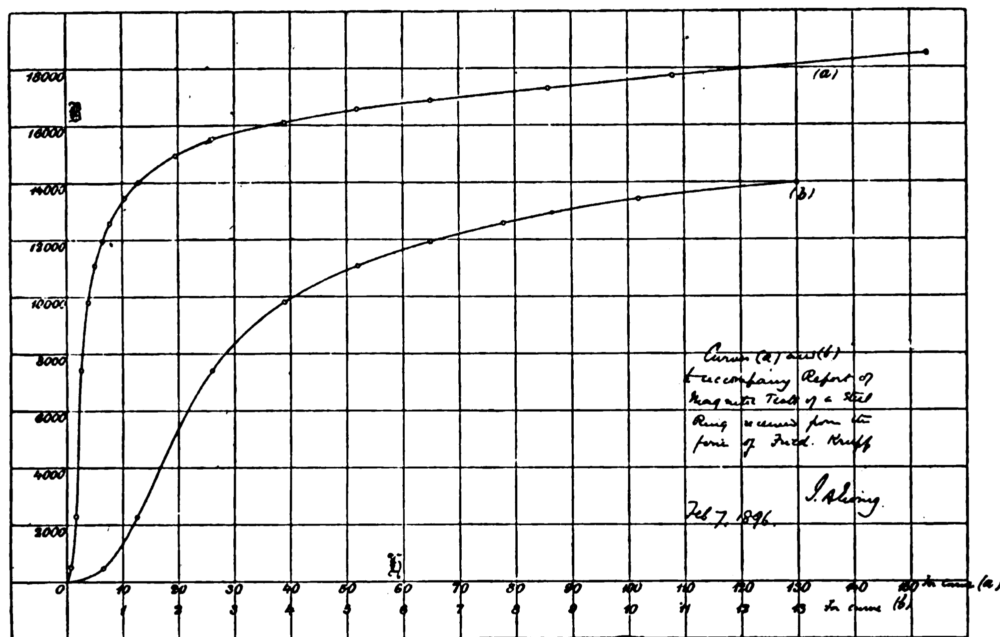


Fig. 1. — Courbe de l'induction.

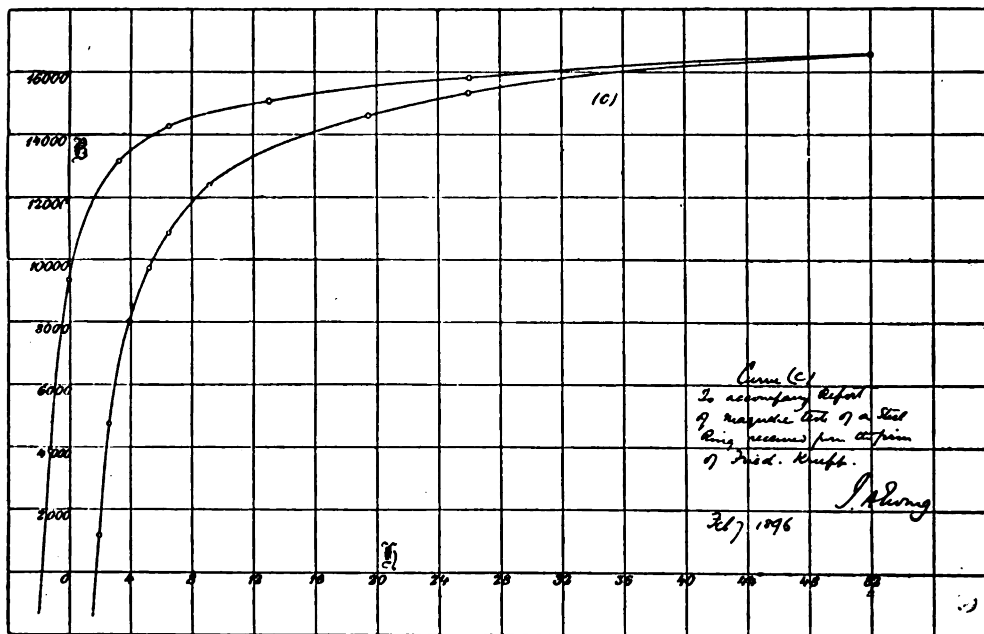


Fig. 2. — Courbe d'hystérésis.

ses propriétés magnétiques le différenciant à peine du meilleur fer forgé. Sa perméabilité aux faibles aimantations est remarquablement élevée ; à ce point de vue il est supérieur non

seulement à tous les échantillons de fonte, mais encore à toutes les sortes de fer forgé que M. Ewing a eu à essayer. La force coërcitive est aussi extraordinairement petite, de sorte que cet acier fondu présente très peu d'hystérésis.

Espérons que nos fondeurs français auront bientôt d'aussi bons résultats à nous soumettre. A. H.

Fabrication des plaques et fils de cuivre ou de zinc électrolytiques procédé Cowper-Cowles (1895).

La cathode C, constituée par une bande métallique sans fin passe, par les rouleaux D D D dans l'anode B, et reçoit son courant d'un balai E. Des rouleaux F, sur lesquels on a rattaché le dépôt à l'origine de sa formation sur C, l'en détachent à mesure qu'il se continue par le déroulement de la cathode, et cela soit sous forme de feuilles soit sous forme de fils, suivant que les rouleaux *f* sont unis ou cannelés. G. R.

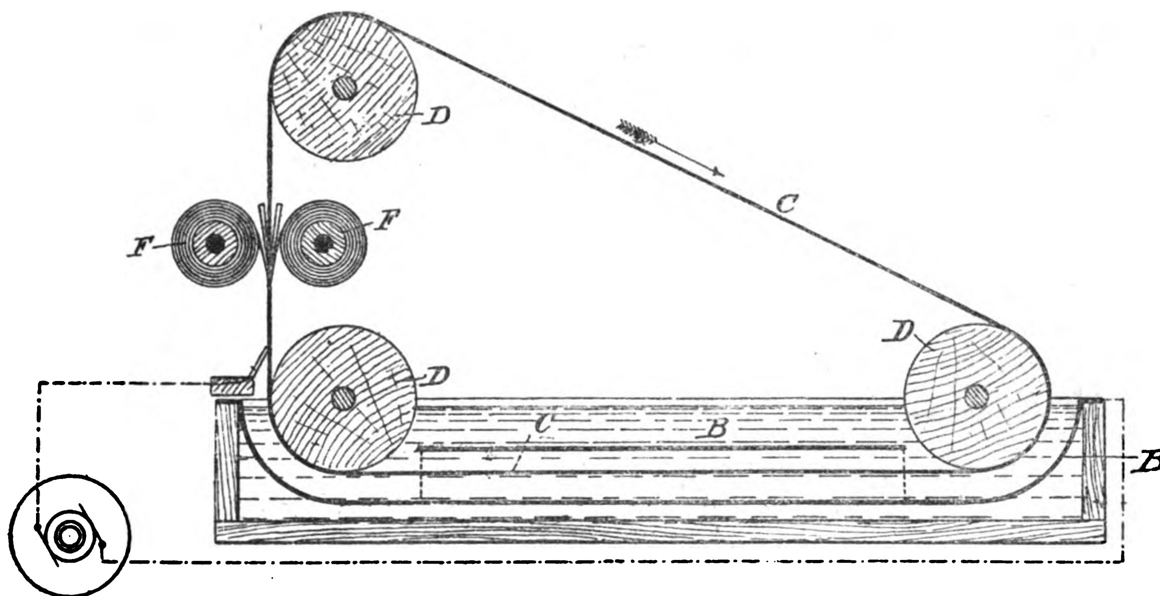


Fig. 1. — Fabrication des plaques et fils de cuivre ou de zinc électrolytique ; procédé Cowper-Cowles

Galvanisation Cowper Cowles (1895).

Les anodes C' (fig. 1 et 2, p. 174), sont suspendues à des poutrelles en fer B, appuyées, par les contacts en cuivre *a'*, sur les conducteurs *a*, et les cathodes sont suspendues à des tirants E, appuyés sur les conducteurs *d*, fixées aux fourrures isolantes D D. Ces cathodes, auxquelles sont suspendus les objets à galvaniser, peuvent ainsi s'enlever et se disposer très facilement aussi près que l'on veut des anodes, dont on peut glisser les poutrelles sur *a'*. G. R.

Trôlets articulés à contact glissant, par Edward Hopkinson et Siemens

Dans le but de permettre à la prise de courant mobile ou trôlet des voitures de tramways de rester toujours en contact avec les conducteurs aériens, quelles que soient, dans certaines limites, la tension et la hauteur de ceux-ci, M. Edw. Hopkinson adopte les dispositifs suivants (fig. 1 à 3).

La barre de contact *a* (fig. 1) est supportée par des bras *b*, sur des pylônes *d* fixés au toit de la voiture. Les bras *b* sont pivotés sur des chevilles *c c*, situées sur un même axe horizontal. Ils portent des projections latérales *e e* auxquelles sont attachés des ressorts *f f* dont l'extrémité inférieure est fixée aux bras

de support *d*. Ces ressorts tendent à maintenir la barre de contact *a* verticalement au-dessus des bras de support *d*, mais lui permettent de s'incliner dans un sens ou dans l'autre.

Cette disposition ne permet pas à la barre

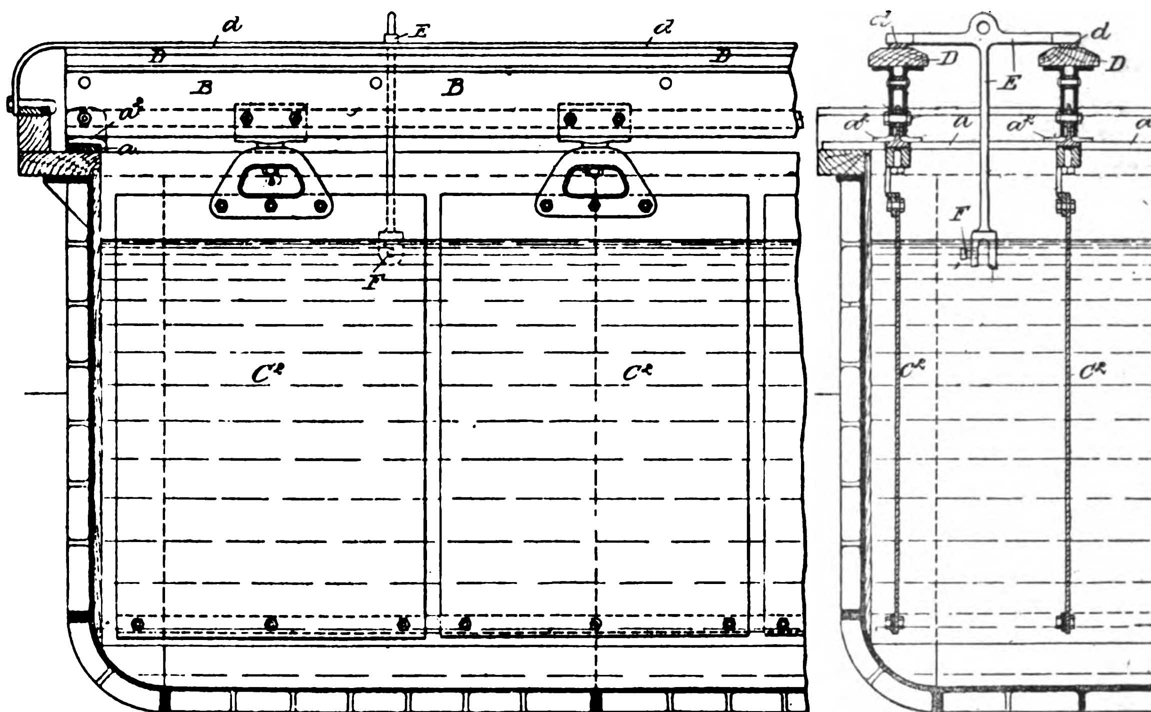


Fig. 5 et 6.— Gavanition Cowper Cowles. (Voir p. 173).

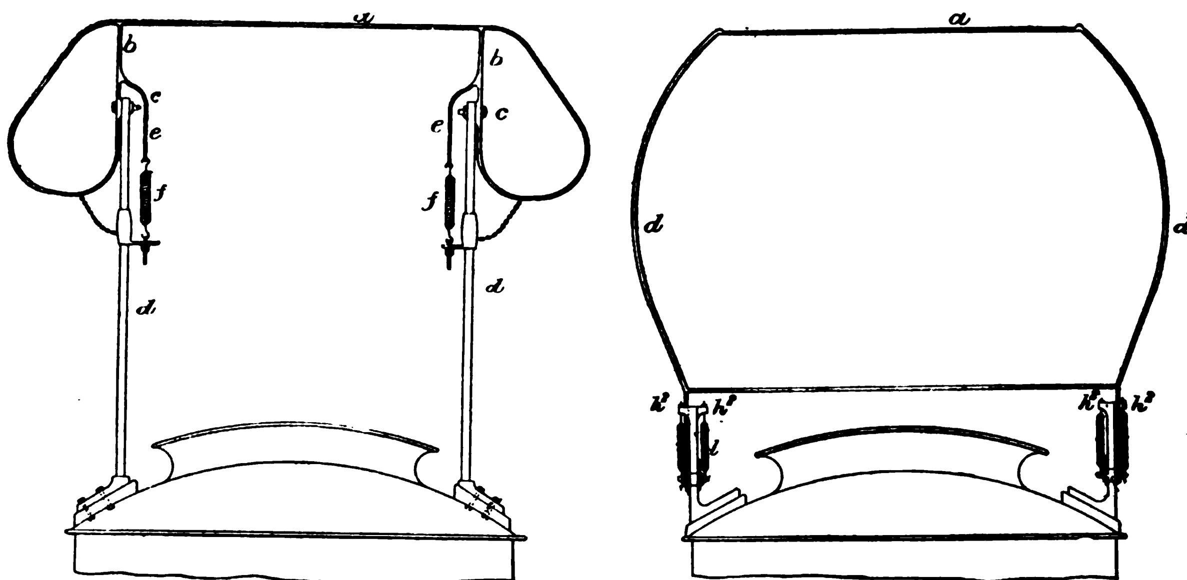


Fig. 1 et 2. — Trôlet articulés à contact glissant Hopkinson.

de contact de passer dans des positions inclinées symétriques par rapport à la verticale, comme il est nécessaire, par exemple, lors des renversements de direction des voitures,

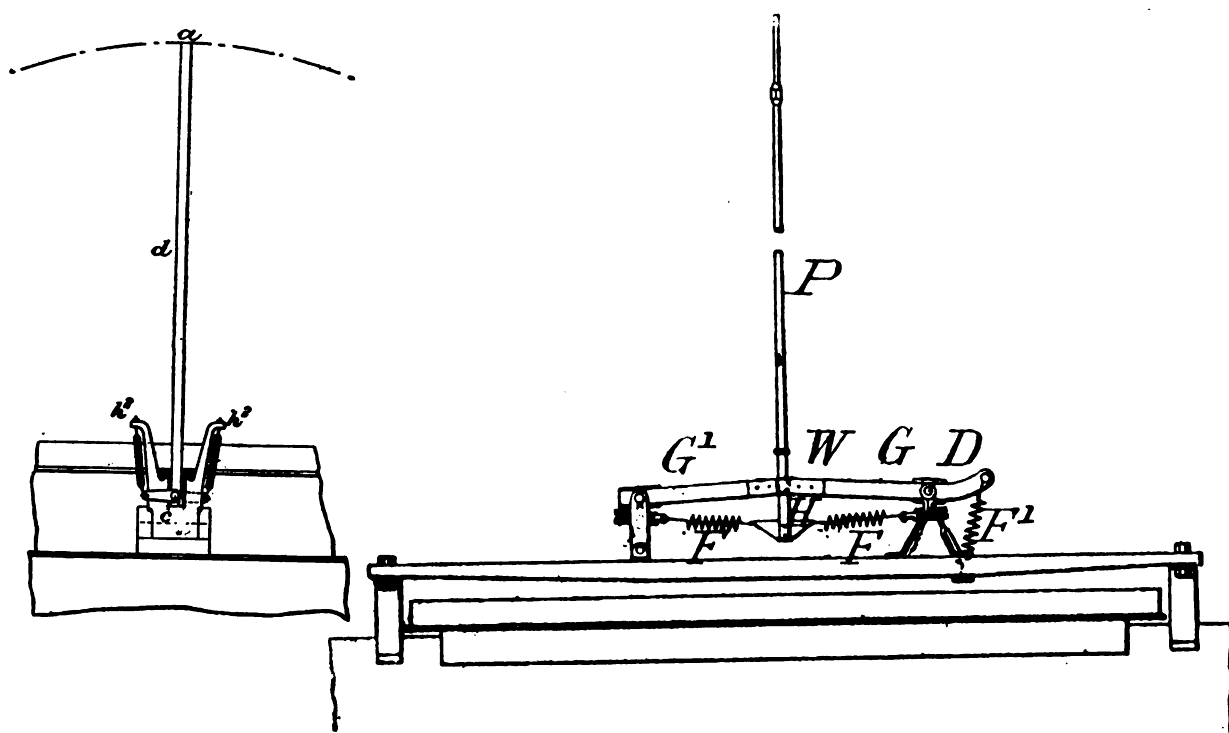


Fig. 3 et 4. — Trôlets articulés à contact glissant, Hopkinson et Siemens.

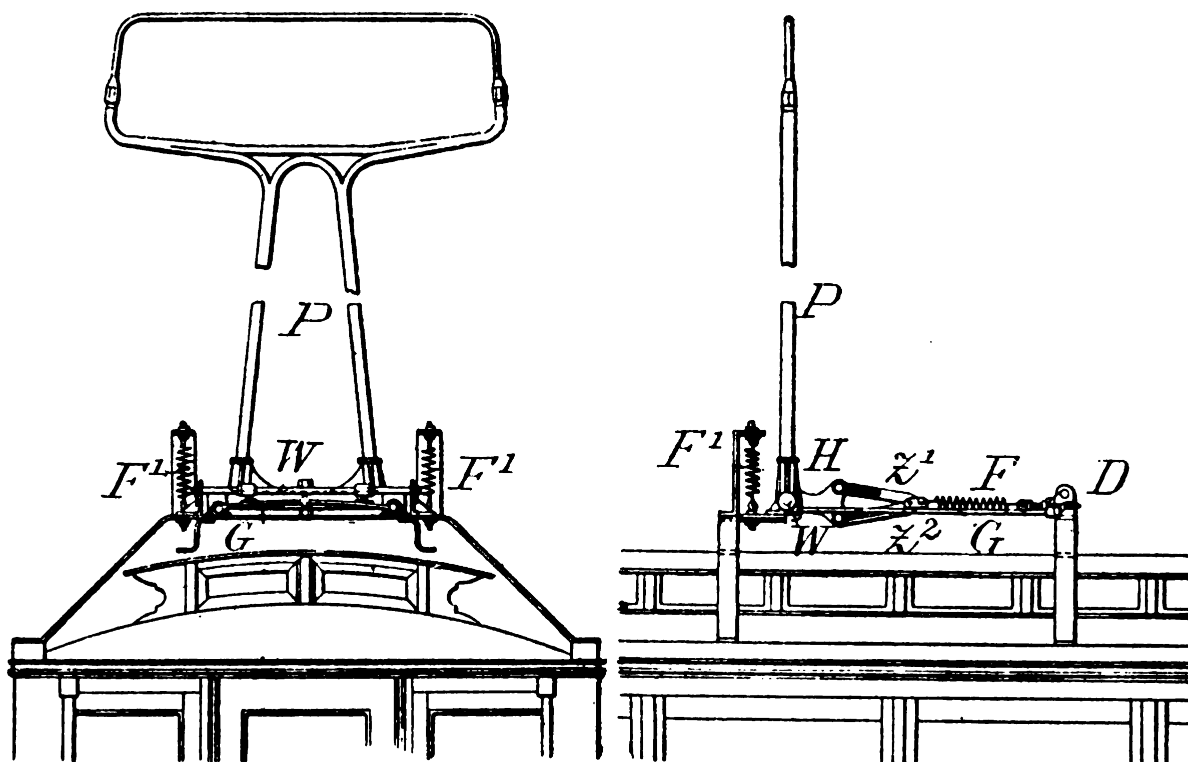
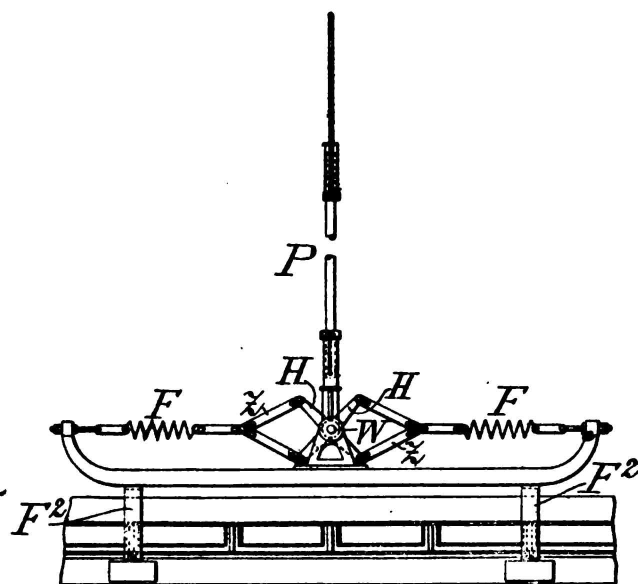


Fig. 5 et 6. — Trôlets articulés à contact glissant Siemens.

la flèche qu'il faudrait donner aux conducteurs du courant étant trop considérable, puisque les points de support de la barre sont fixes. Le dispositif suivant (fig. 2 et 3) permet d'obtenir ce résultat.

La barre de contact *a*, solidaire des bras verticaux *d*, est pivotée à sa partie inférieure, près du toit de la voiture, sur des chevilles *c c* qui sont situées sur un même axe horizontal. Ces chevilles sont montées dans des rouleaux *f* qui peuvent monter ou descendre le long de glissières *h* fixées sur la voiture. Les chevilles *c* portent des bras à l'extrémité extérieure desquelles sont attachés des ressorts *e e* fixés à leur partie supérieure à des projections *l' l'* de la base du trôlet fixée sur la toiture. Ces ressorts tendent à maintenir la barre *a d* verticale et le mode de montage permet à l'ensemble de recevoir un mouvement vertical de haut en bas qui permet le renversement de marche.



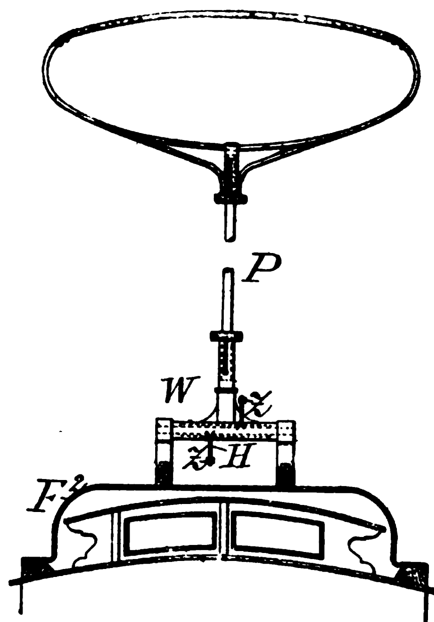


Fig. 7 et 8.

Dans le même but, après M. Hopkinson, MM. Siemens Crothers ont proposé les dispositifs suivants.

La barre de contact est montée sur un bras P (fig. 4 et 5) qui est pivotée en W sur une plate-forme G. Celle-ci est pivotée en D sur la toiture du véhicule, et son autre extrémité est constamment soulevée par un ressort F'. La base de la tige P porte une projection horizontale H qui, au moyen des bielles à coulisse z' z' et du ressort F tend à maintenir la tige P verticale, tout en lui permettant d'osciller en avant ou en arrière suivant la tension et la hauteur du conducteur aérien, tandis que le montage sur la plate-forme G permet le mouvement vertical de haut en bas nécessaire lors des renversements de direction.

On peut obtenir le même résultat avec la disposition représentée en figure 6 qui se comprend sans peine. Les mêmes lettres représentent les mêmes organes que dans les figures 4 et 5. Cette disposition est préférable à la précédente.

Dans les figures 7 et 8, la barre de contact tend à être maintenue dans une position verticale par les ressorts F F qui agissent au moyen des bielles à coulisse *z* et de l'étoile à 4 branches H solidaire du pivot inférieur du

bras de trôlet. L'ensemble est monté sur une plate-forme élastique F' qui permet le mouvement vertical.

Ces dispositifs s'appliquent évidemment aux trôlets à contact roulant.

G. P.

Sur un essai de doublement des communications téléphoniques par des fils de retour commun, par G. Rheins (¹).

L'installation d'un réseau de tramways électriques à Dijon a donné lieu à d'intéressantes expériences sur le réseau téléphonique de cette ville ; nous les résumerons d'après le rapport que publie M. G. Rheins directeur des Postes et Télégraphes du département de la Côte d'Or.

Le réseau téléphonique urbain de Dijon se composait, au 1ᵉʳ octobre 1894, de 16 artères divergentes, constituées par des potelets formés de deux fers en U de 4 m de longueur accolés par leur plat. Chacun de ces potelets supporte 18 isolateurs en S, alternativement longs et courts, placés à 35 cm de distance verticale. La capacité du réseau était de 288 places dont 196 étaient occupées par les fils reliant le poste central aux postes d'abonnés. Ces 196 lignes se divisaient en 155 de 1 km. et moins, 36 de 1 à 2 km, 6 de 2 à 3 km. La longueur totale était de 149,7 km et la longueur moyenne de 763 m.

Le réseau du tramway se compose de 5 lignes, dont une seule, passant à proximité de l'usine, recevait directement de celle-ci son courant ; les 4 autres le recevaient d'un feeder principal se divisant en deux branchements. Le fil de travail de toutes les lignes est en cuivre de 8,25 mm de diamètre. Le feeder principal a 15 mm de diamètre, les deux branchements ont chacun 9 mm. Les génératrices doivent produire 275 ampères et 600 volts à la vitesse de 365 tours à la minute.

Les perbutations apportées par le réseau du tramway dans les communications téléphoniques, ont été étudiées sur 184 lignes. Cette étude a montré que 10 pour 100 des communications étaient absolument impossibles, que 30 pour 100 étaient le siège d'un bruit fort et très gênant, et qu'aucune communication, quelque faible que soit sa longueur, n'était à l'abri.

La Compagnie des tramways s'était bien engagée à effectuer à ses frais le doublement des lignes d'abonnés jusqu'alors à fil simple, mais cette opération ne pouvait s'effectuer avant qu'il eut été constaté, pendant la période d'essai du tramway, qu'elle était indispensable, et, en outre, au moment où elle fut décidée, le froid empêcha de la mener activement. Aussi fallut-il prendre une mesure provisoire pour atténuer, sinon empêcher complétement, les phénomènes d'induction.

Dans ce but on prit sur chaque artère influencée un ou plusieurs conducteurs inutilisés, on les relia par un fil à chacun des postes d'abonnés de cette artère et l'on mit à la terre leurs extrémités arrivant au bureau central ; on réalisait ainsi un retour commun pour tous les abonnés d'une artère. L'annulation du bruit du tramway et des courants de lumière, télégraphiques et terrestres fut complète et on ne nota que dans un seul cas des mélanges d'appel et de conversation. Ces mélanges se produisirent sur une artère desservant trois abonnés dont les lignes avaient une même résistance de 30 ohms ; comme l'artère portait 5 fils encore inutilisés, on les relia en parallèle au fil de retour commun, de manière à réaliser un conducteur de retour 6 fois moins résistant, et les mélanges ne se reproduisirent plus.

Mais indépendamment des lignes d'abonnés aboutissant au bureau central, le réseau comprenait plusieurs lignes reliant ensemble deux postes appartenant au même concessionnaire et non reliés au réseau général. Ces postes furent reliés également aux conducteurs de retour commun et le résultat obtenu fut très satisfaisant ; lorsque la ligne privée passait par le central, bien entendu sans s'y arrêter, c'est à dire lorsqu'elle empruntait deux des artères du réseau, le bruit

(¹) *Journal télégraphique* de Berne, juin 1896, p. 128.

du tramway était tout à fait annulé ; lorsqu'elle ne passait pas par le central et que, par suite, ses extrémités étaient reliées à un même conducteur de retour commun le bruit n'était pas complétement éteint.

La qualité de la terre au bureau central, imposée par le fait que ce bureau était installé pour des lignes sans fil de retour, jouait un rôle important dans l'annulation des bruits d'induction. Lorsque le poste central fut monté à double fil, les retours communs des artères dont le doublement individuel n'était pas encore effectué y furent reliés directement ; les bruits d'induction ne reparurent plus et, comme lorsqu'il y avait une terre, aucun mélange d'appel ne fut observé.

Il résulte de ces expériences que, si le réseau à double fil est évidemment le meilleur pour annuler les effets d'induction, on peut encore obtenir de très bons résultats à ce point de vue en doublant les lignes d'une même artère par un conducteur commun, ce qui dans un grand nombre de cas est facilement réalisable à peu de frais.

J. R.

Précautions à prendre dans l'emploi de l'électricité dans les mines de charbon, par H. W. Ravenshaw [1].

Quoique l'emploi de l'électricité pour l'éclairage et la force motrice se généralise de jour en jour dans les mines et que depuis bon nombre d'années cet agent soit utilisé dans la plupart des mines de charbon d'Angleterre, l'auteur n'a eu connaissance d'aucun accident sérieux résultant de cet emploi. Dans quelques districts cependant, où l'extraction donne lieu à d'abondants dégagements de gaz explosibles, les propriétaires hésitent encore à se servir de l'énergie électrique, et préfèrent employer d'autres moyens, moins efficaces certainement, mais qui, du moins, ne font pas redouter d'explosions. D'après l'opinion de plusieurs savants, l'inflammation des gaz par les étincelles produites par la rupture d'un câble ne serait pas ou du moins serait très peu à craindre, mais comme aucune preuve matérielle n'est venue jusqu'ici sanctionner cette assertion et que l'expérience est peu tentante, les propriétaires de ces mines préfèrent s'en tenir à leurs anciens procédés que de courir le risque d'une explosion.

L'auteur lui-même ne croit pas que les dangers résultant de l'emploi de l'électricité dans ce genre de mines soient nombreux si, toutefois, on prend les précautions nécessaires dans l'installation électrique et si on en surveille l'entretien et il ne voit aucune raison s'opposant à l'emploi d'un moteur électrique, même avec les gaz explosibles, si on a soin de le disposer de façon à ce que ces gaz ne puissent être enflammés par les étincelles produites pendant son fonctionnement.

Dans sa communication, l'auteur expose les précautions à prendre pour se préserver des secousses électriques et pour diminuer les dangers d'explosion.

Secousses électriques. — Les secousses d'un circuit à 600 volts qui, sur un terrain bien sec, causeraient une sensation rien moins qu'agréable, mais non dangereuse, pourraient, sur un sol humide, avoir de fâcheuses conséquences : un choc de cette nature peut renverser un homme, sans le blesser toutefois.

Pour cette raison il serait utile que les engrenages et les autres parties mobiles des appareils soient soigneusement préservés de tout contact accidentel avec les commutateurs, les rhéostats ou les moteurs électriques environnants.

En outre, toutes les parties du circuit électrique devraient être recouvertes d'une enveloppe protectrice empêchant de toucher aux conducteurs sans avoir au préalable enlevé volontairement cette enveloppe ; enfin les enveloppes métalliques protégeant les commutateurs et les boîtes de jonction devraient être mises à la terre d'une façon permanente au moyen d'un fil de fort diamètre relié soit aux rails d'une voie soit à un tuyau de conduite

[1] Communication faite à la *Federated Institution of Mining Engineers.*

d'eau. L'installation des moteurs exige des précautions analogues, principalement si les fondations sont constituées par des pièces de bois assemblées. L'auteur rapporte qu'il a vu un ouvrier recevoir une commotion en touchant la corde d'un treuil mû par un moteur électrique ; les recherches qui suivirent amenèrent la découverte d'un contact accidentel entre le moteur et le cadre métallique du treuil.

Lorsqu'il est nécessaire de déplacer les balais d'un moteur en marche, il serait prudent que l'ouvrier qui est chargé de cette opération soit complètement isolé de terre par l'intermédiaire d'un parquet de bois bien sec recouvert d'un tapis de caoutchouc et muni d'une rampe de bois. Cet isolement est préférable à l'emploi des gants de caoutchouc qui gênent le mouvement des doigts et en outre sont sujets à être percés par toutes les aspérités métalliques avec lesquelles ils viennent forcément en contact dans la manipulation des câbles.

Avec un voltage même très bas, on peut, dans le circuit d'un électro-aimant, recevoir une commotion assez sérieuse en raison du haut potentiel qui est momentanément produit par la rupture du circuit de l'électro. C'est pourquoi on ne saurait prendre trop de précautions en touchant les conducteurs reliés aux électro-aimants.

Quoique, en général, ces commotions ne présentent en réalité que très peu de dangers de mort, l'auteur regarde comme très importants les moyens de s'en préserver car il est évident que les machines mues par les moteurs électriques seront manœuvrées et surveillées avec plus de soin si l'ouvrier qui en est chargé peut y toucher sans appréhension.

Conducteurs principaux. — Dans les puits humides, l'auteur conseille de loger les conducteurs principaux dans des tuyaux à joints étanches ; les boîtes de jonctions devraient être également d'une étanchéité parfaite. Tous les conducteurs parcourant les galeries humides ou traversant l'eau devraient être logés dans une canalisation analogue. On pourrait toutefois dans les puits secs employer les câbles armés en les disposant de façon à ce qu'ils ne puissent être détériorés pendant l'ascension des bennes.

Les câbles qui, partant du fond du puits, vont transmettre l'énergie à des moteurs sont généralement placés sur des isolateurs fixés aux piliers du boisement ; ce mode de fixation offre bien, il est vrai, quelques inconvénients, les conducteurs pouvant être rompus par la chute d'une poutre, ou détériorés par toute autre cause. Toutefois, les frais d'une canalisation protectrice comme celle indiquée plus haut seraient si considérables qu'il est préférable d'employer la méthode la plus simple.

On a bien des fois cherché à empêcher la production des étincelles par la rupture d'un câble, mais aucun dispositif n'a été jusqu'ici adopté dans la pratique et il est même assez douteux que l'on puisse se fier sur une disposition dont l'action dépendrait nécessairement du fonctionnement d'un appareil comparativement délicat.

Suivant l'auteur, le mieux serait d'employer des câbles concentriques, dont le conducteur extérieur pourrait être mis à la terre à de fréquents intervalles, sinon d'une façon continue. Ce mode de canalisation offre aussi aussi des inconvénients, principalement pour les commutateurs et les moteurs, mais si on prend les précautions voulues, les conséquences des accidents qui pourraient résulter de la rupture d'un câble sont considérablement réduites. Dans quelques cas, le conducteur extérieur peut servir d'enveloppe protectrice au câble et n'être recouvert d'aucun isolant ; mais il est de beaucoup préférable que les câbles concentriques soient mis à l'abri de l'eau ou de l'humidité et pour cela ils devraient être logés dans une gaîne en plomb et armés. Un grand nombre d'installations ont été équipées avec des câbles concentriques avec conducteur extérieur dépourvu de tout isolant et mis à la terre. Les chances de rupture de circuit sont doublées par ce fait que la détérioration même légère d'une partie de ce câble

provoquera certainement un court circuit qui fondra les plombs de sûreté. Cependant, en cas de rupture du câble il est bien présumable que les conducteurs extérieurs et intérieurs seront mis en contact et formeront par ce fait un court circuit immédiat fondant les plombs avant que la rupture du câble soit complète, de sorte que l'étincelle sera évitée à ce point, ce qui est à considérer en cas d'éboulement, cet accident donnant très souvent lieu à un dégagement de gaz explosibles qui pourraient s'enflammer au contact de l'étincelle produite par la rupture du circuit électrique.

Boîtes de jonctions. — Les boîtes protégeant les jonctions devraient être en fonte d'une seule coulée afin d'éviter les soudures, et de les rendre parfaitement étanches.

Les jonctions faites sur blocs d'ardoise ou de porcelaine séparées devraient être assez solides pour résister à une traction extérieure provenant d'une cause quelconque. En outre les trous pratiqués dans la boîte pour livrer passage aux conducteurs devraient être rendus parfaitement étanches.

Commutateurs. — Chaque branchement ou dérivation devrait porter un commutateur permettant d'interrompre le circuit soit pour faire les épreuves des câbles, soit pour les réparer en cas d'accident. Avec les câbles concentriques, un commutateur unipolaire monté sur le circuit extérieur suffirait, tandis que sur les circuits à deux fils, il serait prudent d'en avoir un sur chacun des pôles. Dans les endroits où le dégagement des gaz explosifs est à craindre, les boîtes contenant les commutateurs devraient clore d'une façon assez hermétique pour que l'air extérieur ne puisse y pénétrer.

Il faudrait également que les extrémités des câbles reliés aux commutateurs soient logées dans des conduits étanches avant leur entrée dans la boîte de commutation ; en outre, leurs connexions avec les appareils devraient être recouvertes d'une couche de bitume ou de toute autre matière isolante.

Les rhéostats nécessitent aussi des soins particuliers dans leur installation ; d'abord, ils doivent être supportés par de bons isolateurs afin de n'établir aucun contact avec la terre, enfin les spires de ces rhéostats devraient être suffisamment écartées pour que les trépidations ne les fassent pas mettre en contact.

Dans les cas où les rhéostats sont employés fréquemment, pour les appareils servant à l'extraction par exemple, leurs commutateurs devraient être construits de façon à ne pouvoir laisser l'appareil dans une position intermédiaire. Quant aux résistances liquides, elles conviendraient très bien pour la mise en marche des moteurs.

Moteurs. — Lorsque plusieurs moteurs sont employés dans une même installation, leurs enroulements sont généralement shunt ou compound afin de pouvoir facilement les coupler en parallèle. Cependant si l'on n'emploie qu'un seul moteur il est préférable que la génératrice et le moteur soient enroulés en série, car si ces machines sont convenablement calculées on obtiendra, pour une vitesse donnée de la dynamo, une bonne régulation de la vitesse du moteur ; en outre lorsque le moteur est mis hors circuit, la dynamo ne donne plus aucun voltage et la puissance absorbée est presque nulle. Les moteurs en série ont été employés très fréquemment en parallèle pour actionner des pompes ; leur fonctionnement est bon tant que la charge est constante, mais lorsque les pompes se désamorcent, les moteurs qui les actionnent sont sujets aux emballements. C'est pourquoi il serait préférable d'employer des moteurs compound calculés de manière à pouvoir démarrer sous charge et ne pas s'emballer quand cette charge disparaît.

Electro-aimants des moteurs. — Les moteurs enroulements des moteurs shunt et compound sont, comme on le sait, formés par des milliers de tours de fil fin ; or lorsqu'un de ces enroulements est intercalé dans un circuit dans lequel la tension est de 600 volts, par exemple, la différence de potentiel entre chacune des couches de fil est très considérable ; par suite un défaut d'isolement sur une

partie quelconque du fil de l'enroulement, ou bien encore, la détérioration de l'isolant peut avoir de graves conséquences. Dans certains moteurs, l'enroulement est constitué par un fil de cuivre plat séparé des noyaux de l'électro par une simple feuille de papier et isolé lui-même de la même façon. L'auteur conseille, pour la construction des électros de ce genre, de séparer la première couche de fil des noyaux des l'intermédiaire de planchettes de teck ou d'acajou ayant au moins 5 mm d'épaisseur.

Lorsque le circuit d'un électro-aimant vient à être rompu, il en résulte une élévation de tension momentanée qui, outre qu'elle peut donner une étincelle, aggrave les défauts d'isolement, ou les points faibles du conducteur. On peut éviter ce danger en intercalant au moyen d'un commutateur, une résistance en parallèle avec l'électro dont on va rompre le circuit et l'y laissant quelques instants après la rupture. Dans certains cas, il est possible de disposer les commutateurs de façon à conserver d'une façon permanente les électros en parallèle avec l'armature. Toutefois, pour les moteurs d'une certaine puissance il est préférable d'employer un commutateur et une résistance comme il a été dit plus haut car, généralement, on excite les électros du moteur pendant une minute ou deux avant de lancer le courant dans l'armature. Avec les enroulements série, on aura également des étincelles au commutateur, c'est pourquoi il serait prudent que, dans les installations de ce genre, la dynamo et le moteur soient munis d'une résistance permanente reliée en parallèle avec l'enroulement des électros.

Armature des moteurs. — La réduction directe de la vitesse de rotation de l'armature au moyen d'un train d'engrenage a l'inconvénient de rapidement détériorer cette armature, par suite des vibrations intenses qu'elle a à subir. Une armature solidement construite peut, il est vrai, avec une vitesse de rotation inférieure à 500 tours par minute, résister très longtemps, mais il serait préférable de se contenter d'une transmission par vis sans fin ou par courroies, pour la première réduction de vitesse.

Il est à remarquer que dans bien des cas où les vibrations étaient considérables, les armatures se détérioraient mécaniquement sans que l'isolement ait eu à souffrir. C'est pourquoi il faut que les armatures soient fixées aux axes de façon à les préserver d'un mouvement de va et vient qui ne pourrait manquer d'en amener la destruction complète.

Des deux genres d'armatures les plus employées, l'enroulement Gramme et l'enroulement en tambour, ce dernier mode est plus sujet aux court-circuits et offre moins de facilité pour les réparations. Toutefois, il possède sur l'enroulement Gramme de nombreux avantages ; d'abord le poids et les dimensions de l'armature peuvent être plus réduits pour un même travail ; ensuite l'échauffement est moindre, ce qui est à considérer pour les cas des moteurs fermés ; enfin on peut le fixer sur l'axe beaucoup plus solidement qu'un enroulement Gramme. D'après l'auteur, le plus grand avantage consisterait en ce que, en cas de court-circuit, l'armature dite à tambour s'arrête immédiatement, ce qui provoque dans le circuit un excès de courant qui fond les plombs et met automatiquement l'enroulement hors du circuit ; la détérioration occasionnée par cet accident est rarement grave en raison du temps très court pendant lequel l'armature subit l'action du court-circuit. Au contraire, un anneau Gramme pourra tourner encore très longtemps après le court-circuit, et les dommages causés à l'enroulement se trouveront aggravés par les vives étincelles qui se produisent.

Moteurs cuirassés. — Dans certaines mines où l'extraction de la houille donne lieu à d'abondants dégagements de gaz explosibles, on emploie des moteurs cuirassés, pour éviter que ces gaz ne viennent s'enflammer au contact des étincelles produites aux balais, même en fonctionnement normal. Si l'enveloppe du moteur est rendue suffisamment étanche et que les joints soient fréquemment visités,

cette protection peut suffire même dans les mines dangereuses. Pour les grands moteurs on pourra empêcher que l'enveloppe ne s'échauffe au moyen d'une circulation d'eau ou d'air comprimé ; si ce dernier est employé, on en profitera pour maintenir une bonne ventilation dans le réduit où se trouve le moteur et même dans l'enveloppe de ce dernier afin de prévenir toute accumulation de gaz.

L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Recherches sur le tungstène, par Henri Moissan (1).

L'auteur expose les résultats de ses nouvelles recherches sur le tungstène et le carbure de ce métal obtenus au moyen du four électrique.

Le tungstène à l'état de pureté peut se préparer en chauffant directement au four électrique un mélange de 800 gr d'acide tungstique pur et de 80 gr de charbon de sucre pulvérisé. Après une chauffe de 10 minutes avec un courant de 900 ampères et 50 volts on obtient un culot présentant des parties superficielles bien fondues, mais dont la partie intérieure est poreuse et ne touche au creuset de charbon que par quelques points. En évitant, dans ces conditions, la fusion complète du métal, le carbone du creuset n'intervient pas et l'excès d'acide tungstique est volatilisé.

Le métal ainsi préparé est d'une grande pureté ; trois échantillons ont donné à l'analyse 99,76, 99,82 et 99,87 de métal sans trace appréciable de carbone. Ces échantillons se limaient avec facilité et ne rayaient pas le verre.

Lorsqu'il est à l'état poreux le tungstène possède, comme le fer, la propriété de se souder à lui-même, par le martelage, bien au dessous de son point de fusion. Il peut également se cémenter avec facilité, c'est à dire se combiner au carbone, lorsqu'il est chauffé dans une brasque de charbon de bois à la température d'un feu de forge.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 13, séance du 6 juillet.

Sa densité est très élevée, 18,7; il n'agit pas sur l'aiguille aimantée et il est plus infusible que le chrome et le molybdène lorsqu'il ne contient pas de charbon.

Lorsque, dans la préparation du tungstène, on prolonge la chauffe, le métal fond complètement, mouille le creuset de carbone et se carbure aussitôt en donnant une fonte.

En présence d'un excès de charbon, le tungstène fournit un carbure défini de formule CTu^2. Ce carbure est d'un gris de fer, très dur, rayant très profondément le corindon. Sa densité à 18° est de 16,06, Il est un peu plus facilement attaquable que le métal par les agents chimiques.

Sur la solubilité du carbone dans le rhodium, l'iridium et le palladium, par Henri Moissan (1).

Dès 1893 l'auteur montrait que le platine porté à la température de son ébullition dans le four électrique dissout du carbone qu'il abandonne ensuite sous forme de graphite foisonnant et sans production de carbure du métal. D'après de récentes expériences, les métaux voisins du platine : rhodium, iridium et palladium se comportent de la même façon.

Comme exemple du mode opératoire suivi dans ces expériences, nous détachons de la communication de l'auteur la partie relative au rhodium :

« Le rhodium fond rapidement au four électrique. 5 gr de métal pulvérulent ont été placés dans un petit creuset de charbon muni de son couvercle. Le tout était disposé dans un autre creuset rempli de charbon de sucre en poudre. Nous avons chauffé dans notre four électrique pendant dix minutes avec un courant de 300 ampères et 50 volts. Après l'expérience, le métal est réuni en un seul culot ; il n'a pas changé sensiblement de poids. Le lingot ainsi obtenu est malléable et se lime avec facilité.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 16; séance du 6 juillet.

» On mélange 0,4205 de cette limaille de rhodium avec du chlorure de sodium fondu et l'on traite au rouge par un courant de chlore pendant une heure et demie. Le contenu de la nacelle est repris par l'eau et le liquide jeté sur un filtre taré. Le résidu pèse 0,006, ce qui correspond à 1,42 pour 100 de carbone.

» Ce carbone, très divisé, est d'un noir brillant, et après destruction du filtre par l'acide azotique fumant, il a été transformé, par un mélange de chlorate de potassium et d'acide nitrique, et oxyde graphitique facile à caractériser.

» Dans une deuxième expérience, le même métal, déjà carburé, a été refondu dans les mêmes conditions, mais avec un courant plus intense (910 ampères et 50 volts; cinq minutes de chauffe).

» Le nouveau culot présente encore une certaine malléabilité, et il peut se limer; mais il s'écrase sous le marteau, ce qui tient aux nombreux cristaux de graphite qu'il renferme.

» Le carbone a été dosé, mais il est inégalement réparti dans la masse et ne se rencontre que sous forme de graphite. Nous avons obtenu les chiffres suivants :

	1.	2.	3.
Graphite pour 100.....	2,72	4,37	7,38

Action physiologique des courants à haute fréquence; moyens pratiques pour les produire d'une façon continue, par A. d'Arsonval (¹).

« Dans des Communications antérieures, j'ai montré que les combustions organiques étaient augmentées sous l'influence des courants à haute fréquence, soit que ces courants traversent directement les tissus, soit qu'ils y prennent naissance par induction au moyen de la méthode à laquelle j'ai donné le nom d'*auto-conduction*. Il était intéressant de poursuivre l'étude de ces phénomènes en soumettant les êtres en expérience pendant des temps fort longs à l'influence de ces courants, pour voir, par exemple, comment se modifieraient les phénomènes de l'incubation, du développement et de la nutrition en général, notamment après les inoculations pathogènes.

» J'ai été arrêté, au début de mes recherches, par l'impossibilité de réaliser un outillage pouvant produire ces courants sans surveillance pendant plus de quelques instants, et cela d'une façon pratique et économique. Les transformateurs chauffaient ou brûlaient, les condensateurs crevaient ou la dépense de courant était exagérée. Après maintes combinaisons infructueuses, je suis arrivé à réaliser un dispositif simple qui fonctionne sans surveillance des journées entières, dans des conditions de marche très économiques et avec un rendement excellent.

» Dans le dispositif rendu classique par Hertz et perfectionné par Tesla, Elihu Tomson et moi-même, on charge périodiquement une capacité par un courant alternatif à haute tension provenant d'un transformateur dont la différence de potentiel aux bornes du circuit relié à la capacité est d'au moins 10 000 volts. Cette capacité se décharge sur un circuit de résistance et de self-induction appropriés, en donnant naissance à des oscillations électriques dont la période a une durée que donne la formule de Lord Kelvin. Le transformateur est actionné soit par un courant continu (bobine de Ruhmkorff munie de son interrupteur), soit par le courant provenant d'un alternateur à basse fréquence. Dans le premier cas, l'énergie disponible est faible (100 à 200 watts); dans le second cas, elle peut être quelconque; mais ici se présente un gros inconvénient : les deux boules du déchargeur qui terminent les armatures du condensateur sont en même temps en communication avec le circuit à haute tension du transformateur. Il en résulte qu'à chaque fois qu'éclate l'étincelle, le transformateur se trouve fermé sur lui-même. On a beau souffler l'arc avec un jet d'air ou un champ magnétique, cet arc laisse passer non-seulement le courant à haute fréquence, mais aussi le courant à basse fréquence émanant directement du transformateur. Les boules du

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 18; communication faite à la séance du 29 juin.

déchargeur sont rapidement détruites, le transformateur peut être brûlé, surtout s'il est à circuit magnétique femé, et l'on consomme inutilement du courant.

» Dans le dispositif que j'emploie, j'évite ces deux inconvénients en coupant le circuit à haute tension du transformateur par un premier condensateur, de capacité variable, suivant l'énergie dont on veut disposer ; le deuxième condensateur, qui est le siège des oscillations électriques et qui porte le déchargeur, se trouve monté en série avec le premier, que j'appelle *condensateur de garde*. De cette manière, jamais le secondaire du transformateur n'est fermé sur lui-même. En réglant convenablement les capacités du condensateur de garde et du condensateur à haute fréquence, il n'est plus nécessaire de souffler l'étincelle constituée uniquement, dans ce cas, par des décharges à haute fréquence. J'améliore encore singulièrement le résultat en intercalant, en série, sur le circuit primaire du transformateur, une bobine à self-induction variable, qu'on ajuste suivant les besoins. Cette bobine de réaction, contrairement à une résistance de même valeur, mais dépourvue de self, fait monter le potentiel aux bornes du primaire. Le courant alternatif à 42 périodes est pris sur le secteur de la rive gauche, et le transformateur est du système Labour. Il est à circuit magnétique fermé, d'une puissance de 3 000 watts, et donne au secondaire une différence de potentiel de 15 000 volts pour 110 volts aux bornes du primaire. Lorsque je me servais de cet appareil, en montant le condensateur simplement en dérivation sur le secondaire du transformateur, je dépensais 30 ampères sous 110 volts pour produire un courant de haute fréquence, capable d'allumer 3 lampes de 20 bougies placées en dérivation sur le solénoïde à haute fréquence.

» De plus, malgré un soufflage énergique, les boules du déchargeur étaient rapidement détériorées et le transformateur compromis.

» En intercalant au contraire le condensateur de garde et la bobine de réactance, je ne consomme plus que 3 ampères au lieu de 30, et les 3 lampes de vingt bougies brillent d'un éclat plus vif, montrant que l'intensité du courant à haute fréquence est augmentée.

» On règle d'ailleurs à volonté la puissance dépensée en modifiant la capacité des condensateurs de garde et de haute fréquence ainsi que la self de la bobine à réaction. Les condensateurs sont constitués par de grandes jarres cylindriques de 50 cm de hauteur. Leurs armatures d'étain sont collées au verre avec de la cire ou du suif. Malgré cela le diélectrique chauffait très vite et les bouteilles étaient rapidement percées. J'ai eu l'idée alors de les remplir d'eau que recouvre ou non une légère couche d'huile de vaseline. Depuis cette modification je peux marcher vingt-quatre heures de suite sans que les condensateurs bougent et sans que la température de l'eau dépasse 40° à 50°. J'ai essayé également avec succès des condensateurs plans en verre ou en ébonite, immergés dans l'huile de vaseline, mais le premier dispositif, qui est plus simple d'installation et plus propre, a d'habitude ma préférence. D'après ce que je viens de dire, on voit que le rendement d'une installation à haute fréquence ainsi montée peut être élevé ainsi que j'aurai ultérieurement occasion de le montrer à propos de la production de l'ozone. Dans tous les cas, le rendement est bien supérieur à celui qu'on obtient avec le montage classique du condensateur placé en dérivation sur le secondaire du transformateur.

» Avec ce dispositif, je peux étudier l'action prolongée des courants à haute fréquence sur les animaux, soit à l'état normal, soit lorsqu'ils sont soumis à des inoculations pathogènes. Pour éviter toute action perturbatrice, l'animal en expérience est placé dans une cage cylindrique, isolante (bois, verre, carton, etc.), couchée horizontalement.

» Cette cage est entourée extérieurement d'un gros conducteur faisant 15 à 20 tours et à travers lequel passe le courant à haute fréquence. Ce solénoïde induit dans le corps de l'animal des courants de haute fréquence qui ne sont nullement sentis.

» Pour mesurer l'intensité des courants traversant le solénoïde de façon à rester dans les mêmes conditions, je me servais d'un petit ampéremètre thermique placé en dérivation sur une des spires du solénoïde. J'ai depuis simplifié l'installation en me servant du solénoïde lui-même pour mesurer le courant qui le traverse. Pour cela, le solénoïde, au lieu d'être constitué par un conducteur plein, se compose d'un tube métallique *à parois très minces* de 10 mm à 15 mm de diamètre. Ce tube est bouché par un bout tandis que l'autre extrémité se trouve reliée à un manomètre à eau. Quand le courant passe le tube chauffe, l'air qu'il contient se dilate et pousse la colonne du manomètre dont la hauteur définitive mesure cet échauffement. On donne à l'appareil toute la sensibilité voulue en inclinant plus ou moins le manomètre. Enfin, je rends les indications de l'instrument indépendantes des variations de température et de pression extérieures en reliant la seconde branche du manomètre à une capacité close qui le transforme en thermomètre différentiel.

» Dans mes expériences, je m'arrange, pour ne pas troubler les phénomènes, de façon que l'échauffement du solénoïde creux ne dépasse pas 2 degrés. Comme le tube est mince et noirci extérieurement, l'équilibre de température est rapidement atteint. Il est facile, de cette manière, de ramener le courant à la même intensité. Pour connaître cette intensité du courant à haute fréquence, je fais circuler dans le solénoïde un courant à basse fréquence, dont je gradue l'intensité jusqu'à ce que le manomètre donne la même indication. A cause de la minceur des parois du tube, la résistance reste la même sensiblement pour toutes les fréquences. Ce procédé n'a d'ailleurs d'autre prétention que de permettre à l'expérimentateur de se placer dans les mêmes conditions sans compliquer le matériel instrumental.

» J'avais montré antérieurement que les combustions organiques s'exagèrent chez l'animal placé dans le solénoïde ; j'ai pensé qu'il était possible de montrer ce phénomène par une expérience plus simple et moins longue que celle nécessitée par une analyse des gaz de la respiration. Si l'animal brûle davantage, il doit diminuer de poids plus rapidement.

» Pour vérifier cette conclusion, j'ai placé le solénoïde renfermant l'animal en expérience sur le plateau d'une balance enregistrante Richard. Voici quelques-uns des résultats que j'ai obtenus ; un petit cochon d'Inde placé dans le solénoïde, non parcouru par le courant, à perdu 6 gr de son poids en seize heures. On rend le solénoïde actif; le cochon d'Inde a perdu alors 30 gr de son poids dans le même espace de temps (seize heures). Je supprime de nouveau le courant ; il se passe alors un phénomène assez inattendu ; l'animal *gagne en poids* pendant deux heures. Au bout de ce temps, il a augmenté de 1 gr environ. Regnault et Reiset ont constaté un phénomène analogue chez certains de leurs animaux, qui, pendant le sommeil, fixaient plus d'oxygène qu'ils n'éliminaient d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Après ces deux heures la perte de poids reprend sa marche, tout en restant plus faible. Ce n'est guère qu'une demi-heure après l'établissement ment du courant que la perte de poids prend son régime uniforme. Les animaux étaient placés dans un solénoïde disposé pour recevoir leurs déjections qui tombaient dans de l'huile de façon à éviter l'évaporation. L'échauffement de la cage, dû au courant seul, n'élevait pas sa température de 1°, élévation absolument sans influence sur l'animal. Le second cobaye perdait 6 gr de son poids en cinq heures, à l'état normal, et 24 gr dans le même temps, quand le courant passait. Un lapin a perdu 48 gr en huit heures dans la haute fréquence et seulement 23 gr durant le même temps, à l'état normal.

» La perte de poids semble donc être plus accentuée pour les animaux de petite taille, sous l'influence du courant. J'indiquerai ultérieurement les raisons de ce phénomène en poursuivant cette intéressante étude. Pour le

moment je me borne à signaler ces faits qui montrent que la perte de poids confirme les résultats déjà acquis par l'analyse des produits de la respiration. ».

Effets thérapeutiques des courants à haute fréquence, par A. d'Arsonval (¹).

Dans cette communication, l'auteur relate les résultats des recherches cliniques qu'il a instituées depuis le commencement de cette année, à l'Hôtel-Dieu, dans le service du docteur Charrin en vue de rechercher si les courants à haute fréquence, par suite de leur propriété d'augmenter l'intensité des combustions organiques, donneraient de bons effets dans cette classe de maladies, telles que diabète sucré, goutte, rhumatisme, obésité, etc., désignées par le professeur Bouchard sous le nom de maladies par ralentissement de la nutrition.

L'Hôtel-Dieu n'étant pas relié au secteur électrique, l'appareil décrit dans la précédente communication ne pouvait être employé et l'on dut se contenter de la disposition bien connue avec bobine de Ruhmkorff. Mais pour éviter la soudure du marteau à l'enclume de l'interrupteur de cet appareil, l'auteur a fait établir par M. Gaïffe un interrupteur à enclume rotative, mue par un petit moteur animé par une dérivation du courant primaire de la bobine, interrupteur qui a été décrit dans ce journal à propos de l'Exposition de la *Société de Physique* (²) ; avec cet interrupteur, si le collage se produit, il ne peut se maintenir, et l'appareil peut fonctionner ainsi sans surveillance.

L'intensité des courants que l'on pouvait faire passer à travers l'organisme dépassait 500 milliampères ; elle était mesurée au moyen du galvanomètre thermique décrit récemment dans ces colonnes (³).

(¹) *Comptes rendus*, t CXXIII, p. 23 ; séance du 6 juillet 1896.

(²) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 117 ; 18 avril 1896.

(³) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 90 ; 11 juillet 1896.

Trois procédés principaux, indiqués antérieurement par l'auteur, peuvent être employés pour l'électrisation par ces courants à haute fréquence : le premier consiste à amener à la partie du corps que l'on veut électriser le courant émanant du solénoïde à l'aide de conducteurs terminés par des électrodes appropriées ; le second consiste à plonger le malade dans un solénoïde ne le touchant pas, mais qui induit dans son corps des courants de même fréquence : c'est la méthode de l'auto-conduction ou faradisation induite ; dans le troisième, le malade constitue une des armatures d'un condensateur chargé statiquement par le solénoïde et dont l'autre armature est formée par un lit métallique séparé du malade par un matelas isolant.

Dans les observations relatées dans la communication, c'est le premier procédé qui a été employé. Le courant émanant du solénoïde traverse le corps entier des pieds aux mains. Un des pôles du solénoïde est en rapport avec l'eau d'un pédilure où le malade plonge ses deux pieds ; le second pôle est relié aux deux mains par un conducteur bifurqué terminé par des poignées métalliques. Dans ces conditions, le courant est généralisé et son intensité a varié entre 350 et 450 milliampères ; la durée des séances faites quotidiennement, d'abord de 10 minutes, a été abaissée successivement à cinq et à trois minutes suivant l'impressionnabilité des sujets. Le courant n'exerce aucune action consciente soit sur la sensibilité, soit sur la motricité, ce qui fait que les malades se soumettaient sans répugnance à son action.

Des trois observations résumées dans cette communication, deux se rapportent au traitement du diabète, l'autre à celui de l'obésité ; dans les deux premières l'influence heureuse du traitement a été manifeste ; le sujet obèse, bien qu'il ait la foi dans l'efficacité du traitement, n'en a pas bénéficié.

En terminant cette communication, l'auteur ajoute :

« Si cette voie nouvelle ouverte à la thérapeutique est pleine de promesses, je dois

prévenir les médecins que tout est à faire au point de vue clinique. J'ai montré expérimentalement que la haute fréquence est un puissant modificateur de l'organisme; là se borne, pour le moment, mon rôle de physiologiste.

» J'ajouterai un mot au point de vue théorique. Pourquoi ces courants, dont l'action est si puissante, n'impressionnent-ils pas la sensibilité? Les physiciens disent que la cause est à leur localisation superficielle. J'ai montré, par des preuves surabondantes, d'ordre physiologique, que ces courants pénètrent profondément, au contraire, dans l'organisme pour impressionner notamment les centres vaso-moteurs. Les physiciens n'ont pas réfléchi que leur explication s'applique seulement aux corps bons conducteurs, comme les métaux. Dans le cas où le conducteur considéré a seulement la conductibilité du corps humain (inférieure à celle de l'eau salée à 1 pour 100), ces mêmes formules montrent que la répartition du courant doit être sensiblement uniforme dans l'organisme. Il est facile de le vérifier d'ailleurs, comme je l'ai fait avec un cylindre de verre plein d'eau salée, dont les dimensions étaient de 70 cm de longueur sur 25 cm de diamètre. La densité du courant, recueilli suivant l'axe ou près de la paroi, ne varie pas d'un centième de sa valeur.

» La véritable explication de l'innocuité des courants à haute fréquence est donc bien d'ordre physiologique, conformément à ce que j'ai dit dès le début. »

Sur l'action d'une haute température sur quelques sulfures, par A. Mourlot (¹).

Il résulte des expériences de l'auteur que le sulfure de plomb porté à la haute température produite par le four électrique se volatilise en partie en donnant des cristaux très nets et très brillants, tandis qu'une autre partie est décomposée avec formation d'un culot métallique.

Le sulfure d'antimoine se comporte de même ; on obtient un métal exempt de soufre.

Les sulfures de zinc et de cadmium se volatilisent sans trace de réduction et donnent des produits cristallisés.

Le sulfure d'aluminium fond sans volatilisation apparente ni réduction ; la masse obtenue présente une structure cristalline.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 54; séance du 6 juillet 1896.

Variation de résistance sous l'action des rayons électriques, par E. Aschkinass (¹).

La variation de résistance provoquée dans un réseau de bandes métalliques par les rayons électriques qui le frappe, signalée précédemment par l'auteur, est dû à des phénomènes qui se passent dans les vides du réseau : le fait est identique au fond à celui que M. Branly a découvert. L'expérience suivante en donne la preuve.

Un morceau de clinquant collé sur du papier ou du verre est fendu dans toute sa longueur avec un couteau bien aiguisé. Aux quatre extrémités A_1B_1 A_2B_2, sont fixées des bornes. Les bornes A_2 et B_2 sont reliées par un fil court : les bornes A_1 et B_1 servent à introduire le conducteur dans un pont de Wheastone. Le courant va de A_1 en A_2 et de B_2 en B_1. Dans ces conditions, on observe comme il a été indiqué, une diminution permanente de la résistance, qui disparaît sous l'action d'une secousse mécanique. Ensuite on supprime la communication entre A_2 et B_2 et on relie le fil M à A_2 ; il ne reste plus dans le circuit que la moitié A_1A_2 de la bande de clinquant , dans ces conditions, on n'observe plus de variation de la résistance. Les rayons électriques n'agissent donc ni sur la masse du clinquant, ni sur les contacts A_1, A_2, B_1, B_2.

On remet les fils L et M aux bornes L et M, on rétablit la liaison A_2B_2 et on introduit le tout, avec un galvanomètre sensible dans un circuit que parcourt un courant de faible intensité ; l'aiguille dévie d'une certaine quantité, si on enlève le fil A_2B_2 le courant est interrompu. Mais dès que des ondes électri-

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 408.

ques arrivent sur le système, l'aiguille du galvanomètre dévie de nouveau et prend une autre position d'équilibre ; si on échauffe ou secoue le système, l'aiguille reprend sa position primitive. La sensibilité des résistances de clinquant varie avec leur construction, mais le phénomène disparaît quand l'intervalle

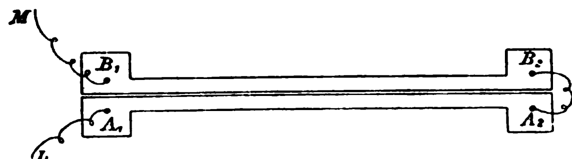


Fig. 1.

entre les bandes est trop grand; du reste, plus la résistance est sensible au rayonnement électrique. plus elle est sensible aussi aux agitations mécaniques.

L'auteur ne pense donc pas que la théorie de M. Mizuno soit justifiée et rappelle que M. Branly ne croit pas non plus que ses expériences puissent s'expliquer par des phénomènes purement mécaniques.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages reçus

Sur l'électrodynamique des milieux diélectriques, par P. Duhem, professeur de physique théorique à la Faculté des sciences de Bordeaux. — *A. Hermann,* éditeur, 8, rue de la Sorbonne, Paris.

Sur la propagation des actions électrodynamiques, par P. Duhem.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Éclairage.* — Nous avons signalé, à différentes reprises, l'extension prise par les diverses usines créées à Paris pour l'éclairage électrique.

Celle du quai Jemmapes, belle et grande station, installée tout récemment par la Compagnie Parisienne de l'air comprimé, et qui comporte trois puissants groupes électrogènes, se trouve obligée, après quelques mois seulement de fonctionnement, d'augmenter sensiblement sa puissance de production.

Cette usine avait installé, l'année dernière, trois machines d'une puissance de 1 250 chevaux chacune, construites par la Société Alsacienne de constructions mécaniques, et trois groupes de quatre générateurs Belleville, munis d'économiseurs réchauffeurs de l'eau d'alimentation, du système Delaunay-Belleville.

L'augmentation de matériel comprendra, outre les dynamos, deux nouvelles machines d'une force de 2 500 chevaux et deux groupes de générateurs Belleville.

Bordeaux.— Traction. — On nous annonce que M. Camelle, adjoint délégué à la police administrative de la 2e section, a reçu des propositions de plusieurs Compagnies qui demandent la concession des tramways électriques dans la ville de Bordeaux.

Le cahier des charges de la Compagnie des tramways autorise le rachat de sa concession, de son matériel, etc., par la ville.

Or, l'une des Compagnies concurrentes, la Compagnie des tramways électriques de Bordeaux-Bouscat-Le Vigean, offre de payer les frais du rachat et d'installer des voitures électriques sur les lignes actuelles, avec canalisation souterraine, et de créer de nouvelles lignes sur plusieurs des grandes voies, non encore desservies, de la ville.

De plus, les voitures électriques effectuant leurs voyages en deux fois moins de temps que n'en mettent les tramways à traction animale, le service sera doublé sur tout le parcours.

Enfin le prix des places serait seulement de dix centimes avec droit à la correspondance.

Comme on le voit cette transformation apporterait une amélioration notable dans le service des tramways. M. Camelle va commencer l'étude des plans et projets qui lui ont été remis par diverses Compagnies afin de donner à bref délai une solution favorable à la substitution.

M. Bretherton, directeur de la Compagnie des tramways s'est également mis au nombre des concurrents et s'est proposé de remettre à la mairie, avant huit jours, un dossier complet de la transformation des voies des tramways.

Bordeaux. — *Éclairage*. — On discute actuellement à Bordeaux la question de l'éclairage électrique des quais.

De nombreux projets ont été remis à la commission déléguée qui les étudie actuellement pour fixer son choix sur celui qui lui paraîtra le plus avantageux. Parmi les concurrents se trouvent MM. Sautter Harlé et Cie, Ch. Mildé et Cie, Bréguet et Cie, Wehrlin, Tricoche, Compagnie Electro-Mécanique, Société des anciens Établissements Cail, Société d'Éclairage de Bordeaux et du Midi, etc.

Les études pour l'installation de l'éclairage électrique dans la salle du Conseil Municipal de Bordeaux et dans le grand escalier de l'Hôtel-de-Ville viennent d'être commencées.

Bernay (*Eure*). – *Traction* Des travaux viennent d'être commencés sur la voie ferrée entre Serquigny et Bernay. Les ponts de la Charentonne sont remplacés. Il est question, dit le *Rappel de l'Eure*, de mettre en circulation pendant la saison d'été la machine électrique *Fusée*, entre Paris et Trouville. C'est à cette cause que serait due la réfection de ces ponts.

El-Biar (*Algérie*). — *Éclairage*. — La lumière électrique paraît en bonne voie de progrès dans notre colonie algérienne excepté dans la capitale. Les habitants d'Alger avaient pu, un moment espérer que leur compagnie d'éclairage par le gaz entrerait enfin dans la voie du progrès, mais il n'en fut rien. Les propositions faites par diverses personnes se trouvèrent, pour une cause ou l'autre renvoyées à des examens, la compagnie promit de faire des études de projet et quand la municipalité voulut éclairer à l'électricité le théâtre municipal, ce fut elle-même qui dut s'en charger.

Plus heureuse que la métropole, la petite ville d'El-Biar, autrefois partie intégrante de la grande ville, a pu réaliser, sans bruit et par ses seules ressources ce que n'a pu faire sa voisine. Un électricien proposa à la commune de remplacer les lumignons fumeux au pétrole par des lampes électriques. La redevance à payer étant inférieure aux anciens prix, l'éclairage supérieur, la municipalité n'hésita pas et conclut le marché qui fut approuvé par la préfecture.

Deux mois seulement se sont écoulés depuis ces faits, et dans ce court espace de temps on a pu construire l'usine génératrice, ce qui a permis de doter les habitants d'El-Biar et des environs, qui ont voulu favoriser la nouvelle entreprise, d'un éclairage aussi agréable qu'économique.

Déjà on compte 950 lampes particulières souscrites ; 700 environ sont placées et par les nuits sombres, dorénavant, les rues et places de la ville seront éclairées par des lampes à incandescence à réflecteurs.

L'usine génératrice, située sur le chemin qui, de la place de l'Eglise conduit au petit lycée de Ben-Aknoun, comporte deux dynamos actionnées par deux moteurs ; l'un de 55 chevaux, l'autre de 30, ce dernier sert à assurer l'éclairage dans la journée et à charger une batterie d'accumulateurs logée, près de l'usine, dans une cave creusée dans le roc.

Une foule nombreuse n'a cessé, toute la journée, de visiter cet établissement dont les honneurs étaient faits par MM. Gonniaud et Cie, les concessionnaires de cette exploitation qui réalise un véritable progrès.

La population El-Biarienne est enchantée de la transformation que subit ainsi sa charmante localité et tout fait prévoir qu'avant peu tous les établissements et de nombreux propriétaires ne se serviront pas d'autre éclairage.

Grenoble. — *Traction*. — Nous lisons dans l'*Officiel* du 29 juin que les autorités civiles de Grenoble viennent de prendre un arrêté en vertu duquel est déclaré d'utilité publique l'établissement, dans le département de l'Isère, de deux lignes de tramways, à traction électrique, destinées au transport des voyageurs, bagages et messageries, de Grenoble à Eybens et de Grenoble à Varces, par Pont-de-Claix.

Le département de l'Isère est autorisé à pourvoir à la construction et à l'exploitation des lignes de tramways dont il s'agit.

Est approuvée la convention passée, le 29 mai 1896, entre le préfet de l'Isère, au nom du département, et MM. Merlin et Chassary, pour la rétrocession des tramways subventionnés, conformément aux conditions du cahier des charges.

Havre. — *Traction*. — La compagnie des tramways électriques du Havre vient de procéder aux essais du nouveau service de la gare aux abattoirs. Ces nouvelles lignes desservent les rues Charles-Laffite, de Harfleur, Gustave Brindeau et la rue de Chateaudun, jusqu'au pont n° 5, point terminus provisoire de la voie, qui se prolongera, lorsqu'elle sera complètement achevée, jusqu'à l'entrée des Chantiers de la Méditerranée.

Les jours de marché, c'est à dire les lundis et vendredis, un embranchement partant du boulevard de Graville desservira les abattoirs.

La nouvelle ligne a été livrée à la circulation jusqu'au pont n° 5, où les travaux sont interrompus par suite des pourparlers relatifs au passage de ce pont entre la compagnie des tramways et la compagnie des chemins de fer de l'Ouest. On s'attend à une solution favorable résultant de l'entente de ces deux compagnies pour terminer complètement la voie. Le disque des nouveaux tramways est blanc et rouge.

Joyeuse (*Ardèche*). — *Traction.* — Le conseil municipal, saisi par des correspondances particulières de la question du tramway Aubenas Saint-Paul-le-Jeune, a décidé que le maire et 3 membres du conseil se rendraient à Vals pour s'aboucher avec les représentants de la compagnie d'électricité. Ils seront présentés par les membres de la commission du tramway élue par le conseil municipal de Vals.

Nolay (*Côte d'Or*). — *Éclairage.* — Les ingénieurs chargés des travaux d'installation d'éclairage électrique, qui, comme nous l'avons annoncé dans notre numéro du 27 juin 1896, p. 605, sont en cours d'exécution dans cette ville, se proposent d'établir un circuit passant par Changes, Paris-Lhopital et Dezize sur Santenay, afin d'éclairer ce joli bourg et tout spécialement la Fontaine salée et le nouvel établissement du Kursaal, parages très fréquentés par les touristes.

Revel (*Haute-Garonne*). — *Éclairage.* — La ville de Revel a, paraît-il, fait des dépenses assez grandes pour son éclairage électrique sans avoir complètement réussi, si on en juge par le récit suivant de l'origine de l'affaire.

Vers le milieu de l'année 1885, l'administration actuelle projetait d'éclairer Revel à la lumière électrique; des projets furent présentés.

Un bail fut passé avec M. Moffre, propriétaire du moulin où fut installée une turbine de la valeur de 4 000 fr, une dynamo et les accessoires nécessaires au bon fonctionnement de l'éclairage. Seulement l'eau n'était donnée que par le bon vouloir de la Compagnie de canal et pour ses besoins particuliers.

En 1893, on décida d'adjoindre un moteur à vapeur de 45 chevaux qui coûta 8 000 fr. La machine ne put jamais marcher convenablement et Revel fut de nouveau plongé dans l'obscurité !

Pendant ce temps, une autre usine électrique s'était installée dans la gorge de Malamort. Les municipalités de Cammazes, Sorèze et Durfort avaient laissé le directeur de cette usine libre de s'installer, sous condition que ledit directeur s'engageait à éclairer gratuitement ces trois communes : il avait pour se dédommager l'éclairage des particuliers.

A la séance du Conseil municipal de Revel du 13 janvier 1895, on discuta la proposition du directeur de l'usine de Malamort qui offrait de verser à la ville un cautionnement de 12 000 fr et s'engageait à éclairer la ville de Revel pendant trente ans. Comme compensation on lui abandonnerait l'éclairage des particuliers. Ce projet fut voté à l'unanimité des membres présents. Sur ce, le directeur de l'usine de Malamort se mit en devoir de faire transporter à son usine toute l'installation électrique du moulin.

M. Moffre avait réussi à se faire attribuer la turbine payée par Revel, qui avait été scellée dans le moulin, sa propriété, et qui, par une clause ne faisait pas partie de l'installation électrique.

La turbine fut laissée par force de loi au propriétaire du moulin. Par une autre clause, M. Moffre s'étant réservé que, si la ville de Revel voulait changer de place son installation électrique sans abandonner ce mode d'éclairage, l'administration serait obligée de payer une indemnité pendant neuf années consécutives. Donc par la suite de ces conventions, l'administration révéloise s'est vue obligée de se charger elle-même de nouvelles dépenses, savoir : 1° achat d'une dynamo, nouveau modèle ; 2° réinstallation de toute la canalisation sur une base plus solide.

De sorte que voici maintenant le bilan de tous ces travaux : 1892, bail du moulin de M. Moffre pour neuf ans ; 1893, installation d'une ligne électrique du moulin à Revel (5 km); 1896, achat d'une machine à vapeur; abandon du moulin, achat d'une nouvelle dynamo et réfection complète de toute l'installation électrique.

Tout cela pour aboutir à l'éclairage au pétrole.

Voilà un exemple des exploitations d'usines municipales que nous livrons aux méditations des municipalités récemment élues.

DIVERS

Un nouveau bateau sous-marin. — On construit actuellement, en Amérique, un nouveau bateau sous-marin, qui, d'après le *Scientific American,*

présente de nombreux avantages sur les différents modèles construits jusqu'à ce jour.

Ce bateau, que l'on construit d'après les plans de M. H. P. Holland, pour le compte du gouvernement des Etats-Unis, affecte comme tous ses similaires, la forme d'un cigare de 24,38 m de long, 3,25 m de diamètre et dont le déplacement est de 118,5 tx en flottabilité et 137,5 tx à 138,5 tx dans deux positions différentes d'immersion. Le bordé est en tôle de 0,013 m. d'épaisseur, rivée sur des cornières en acier d'une épaisseur de 0,089 $\times$ 0,089 m. La coque est à double fond sur une partie de sa longueur. L'appareil moteur de ce bateau a une puissance de 200 chevaux : Il se compose de deux machines à vapeur à triple expension actionnant deux hélices et qu'alimente une chaudière multitubulaire. Avant l'immersion la cheminée est rentrée et l'orifice fermé par une porte étanche. La réserve de vapeur contenue dans la chaudière suffit pour assurer le fonctionnement des machines pendant quelque temps. Ensuite, lorsque cette réserve est épuisée, on a recours à l'énergie électrique emmagasinée dans des accumulateurs pour actionner une dynamo dont l'axe est prolongé jusqu'à l'extérieur de la coque et qui est muni d'une troisième hélice remplaçant les deux autres devenues inactives.

Le bâtiment peut naviguer suivant trois degrés de flottabilité ; sa vitesse atteindra, paraît-il, 13,5 nœuds à l'heure en flottant comme les bateaux ordinaires, et 12,5 nœuds à la deuxième position d'immersion pour laquelle le kiosque du timonier et la cheminée sont seuls visibles Pour la troisième position, qui correspond à une immersion complète pouvant atteindre une profondeur de 13,50 m au maximum, la vitesse propulsive ne sera plus que de 6,5 nœuds à l'heure.

Le mécanisme de submersion ne diffère pas de celui qui est employé sur les autres sous-marins. Ce mécanisme se compose de deux gouvernails horizontaux que l'on incline vers le bas ou vers le haut pour faire plonger le bateau ou le faire revenir à la surface pendant la marche. La submersion au repos s'opère par le moyen de deux petites hélices à axe vertical placées l'une à l'avant l'autre à l'arrière, et qui sont actionnées par des moteurs électriques. En faisant varier leur vitesse ou le sens de leur rotation, on peut obtenir, plus ou moins rapidement, l'immersion ou l'émersion.

Le pont du bateau porte un cylindre vertical qui, lorsque le bâtiment sera submergé, dépassera notablement la flottaison et dont la partie supérieure sera munie d'un miroir incliné ou d'un prisme renvoyant, vers le timonier, suivant l'axe du tube, les images extérieures capables de lui servir à se diriger et à atteindre l'ennemi. L'installation d'un compas de route dans l'intérieur d'un bâtiment aussi petit et entièrement métallique étant peu pratique en raison de l'influence exercée par la coque sur l'aiguille aimantée, la direction rectiligne, une fois le cap donné, sera assurée par une sorte de drague triangulaire reliée au gouvernail et ramenant le navire dans sa direction s'il s'en écarte.

Ce bateau sera équipé de deux tubes lance-torpilles fixés à l'avant et pourra recevoir 5 torpilles automobiles.

L'air nécessaire à la respiration des hommes de l'équipage, au chargement et au lancement des torpilles, est emmagasiné dans des réservoirs à la pression de 140 atmosphères. Un régulateur automatique à diaphragme contrôle la profondeur d'immersion et empêche cette dernière de dépasser les limites de sécurité. Si en cas d'accident le bateau restait submergé, des appareils semblables aux scaphandres, mais pouvant flotter, seront mis à la disposition de l'équipage. Les hommes revêtus de leurs appareils pourront quitter le bord par une porte ménagée dans la coque et remonter à la surface sans effort.

Les conditions stipulées dans le marché portent que l'immersion devra être obtenue en 1 minute pour une profondeur minimum de 6,50 m. si le bâtiment est à son tirant d'eau normal. A la deuxième position cette profondeur devra être atteinte en 30 secondes.

Le réseau des tramways de Chicago. — D'après les statistiques les plus récentes on voit que les tramways ont pris, pendant les dix dernières années, un développement considérable dans la ville de Chicago. En 1886 on ne comptait dans cette ville que 4 compagnies de tramways d'un capital de 56 250 000 francs. Le réseau total représentait une longueur d'environ 145 kilomètres de lignes en exploitation. Le prix total moyen du kilomètre était de 388 000 francs. On compte actuellement à Chicago 29 compagnies de tramways dont les capitaux réunis s'élèvent à 937 500 000 francs. Le réseau total représente une longueur de 548 kilomètres, ayant coûté 1716 157 francs par kilomètre.

Des quatre réseaux existants en 1886, trois étaient à traction animale, le quatrième était tant à traction par câble qu'à traction par chevaux. On peut dire qu'avec le système actuel le cheval a pratiquement disparu des lignes de tramways de Chicago. La traction électrique à elle seule représente une étendue de 408,765 kilomètres en voies de surface et 24,045 km en voies élevées. La traction par câble compte pour 67,326 km et la traction animale 29 km.

La traction à vapeur sur les voies élevées est employée pour une longueur de lignes de 19,090 km. Enfin lorsque les lignes en cours de construction seront achevées il y aura à Chicago 641,200 km de lignes de tramways servant au trafic dans tous les points de la ville. A titre de curiosité on peut comparer à ce réseau celui de la ville de Londres qui possède à peine 4,5 km de lignes de tramways à traction mécanique dans son réseau relativement restreint (218 km); le reste est effectué par la traction animale.

Pont roulant électrique pour le transport des locomotives daus les ateliers de construction. — Parmi les nombreuses applications de l'électricité à la manœuvre des ponts roulants, applications dont nous avons à plusieurs reprises entretenu nos lecteurs dans plusieurs articles de notre collaborateur M. Richard, qui en a décrit différents types affectés à des travaux divers, nous signalerons le pont électrique qui vient d'être installé par la Machinen und Waggonfabrik de Simmering, près Vienne, dans les ateliers de réparations de locomotives de l'Impérial Austrian Railway. Cet appareil est intéressant par le genre de travail peu ordinaire auquel il est affecté et par la grande puissance (60 tonnes) qu'exige le transport d'une locomotive toute montée d'un atelier à un autre. Il se compose d'une plate-forme principale montée sur 8 roues parcourant les 4 rails de support et de circulation. Un moteur électrique installé au centre de la plate-forme imprime à celle-ci une vitesse de 15 mètres par minute avec la charge et peut s'embrayer sur des tambours où viennent s'enrouler les chaînes de levée.

La locomotive à transporter est suspendue au moyen de 4 colonnes fixées à l'aide de 4 roues intérieures, descendant à mi-distance du sol et le long desquelles coulissent 4 colonnes correspondantes d'un cadre qui reçoit la locomotive. L'élévation s'opère au moyen de chaînes rattachées aux extrémités des 4 montants du cadre et s'enroulant sur des tambours portés par la plateforme et mus par l'électromoteur de cette dernière En outre le cadre portant la locomotive est pourvu d'une petite plate-forme sur laquelle est installé un moteur électrique de 8 chevaux servant à amener la machine à transporter dans le cadre et à l'en sortir en faisant passer la chaîne par une poulie de retour fixée à un endroit quelconque. Les rhéostats et appareils de manœuvre du moteur de la plate-forme principale sont également placés auprès du cadre, où se tient le mécanicien qui fait exécuter les diverses manœuvres; l'embrayage et le désembrayage du moteur principal s'opère d'en bas. Avec cet appareil le personnel nécessaire au déplacement d'une locomotive est très restreint, 8 hommes suffisent pour ce travail.

Transmissions à haute tension. — D'après *The Electrical Engineer*, de New-York, la Compagnie Westinghouse d'accord avec la Tellarède Power, Transmission Company, vient de faire d'intéressantes expériences pratiques sur l'emploi des hautes tentions. La tension du courant est élevée, au moyen de transformateurs, à une valeur pouvant varier entre 3 000 et 60 000 volts ; on a pu, dans ces conditions, transmettre une puissance de 100 chevaux, à 4 km de distance, avec un fil télégraphique ordinaire, en fer, coûtant, en tout, 175 francs ; le rendement dont la valeur exacte n'est pas donnée, est paraît-il très bon. Cette installation est en service depuis plusieurs mois ; la tension a varié entre 15 000 et 60 000 volts ; pendant les tempêtes de neige on a pu conserver la tension de 35 000 volts.

Le chauffage électrique et les bicyclettes. — Tous les bicyclistes ont éprouvé à leurs dépens avec quelle facilité un "pneu" se crève et combien il est difficile, souvent, de le réparer. Un inventeur américain a imaginé, sous le nom de vulcanisateur électrique, un appareil composé d'une plaque métallique chauffée à une température convenable par un courant électrique, et sur laquelle on applique sous une pression d'environ 1 kg cm^2, la partie blessée du pneumatique ; sous l'action de la chaleur, la déchirure se referme et le caoutchouc est remis en état de neuf.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Paris.— Imp. Em. MAUCHAUSSAT, 33 Boulevard de Vaugirard

Tome VIII — Samedi 1er Août 1896 — 3e Année. — N° 31

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

MESURES DE PUISSANCES DANS LES COURANTS ALTERNATIFS

En décrivant dans mon précédent article le wattmètre universel de MM. Blondel et Labour, (1) j'ai négligé l'emploi que l'on peut en faire comme appareil à deux bobines à gros fil indépendantes, ce qui permet de diminuer le nombre de lectures qu'on peut avoir à faire pour mesurer une puissance avec un seul appareil.

Un dispositif indiqué récemment par M Behn-Eschenburg (2), permet d'arriver au même résultat, mais dans un cas différent et vient compléter le premier.

Pour faire ressortir avec plus de clarté l'avantage qu'on peut tirer des pareilles dispositions, je reprendrai au point de vue général la question des mesures des puissances absorbées ou fournies par des appareils à courants polyphasés, question bien connue sans doute mais un peu négligée jusque maintenant dans les périodiques et dans les différents traités d'électricité qui se sont généralement limités à quelques cas particuliers (3)

COURANTS TRIPHASÉS

Occupons-nous d'abord des courants triphasés ; deux cas sont à distinguer suivant que la distribution est équilibrée ou non.

1° *Puissance triphasée non équilibrée.* — Désignons par e_1, e_2, e_3 les voltages simples aux bornes des trois phases et par i_1, i_2, i_3 les intensités des courants dans chaque phase.

La puissance totale absorbée ou fournie par l'appareil est évidemment :

$$\frac{1}{T}\int_0^T (e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3)\, dt.$$

En général, la connaissance de cette puissance totale suffit ; elle peut s'obtenir dans le cas le plus général avec deux lectures seulement et deux appareils.

a) Montage en triangle. — On a alors sans aucune hypothèse sur le décalage, la nature et les valeurs des forces électromotrices induites

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

L'expression

$$e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

peut par suite s'écrire

$$e_1 (i_1 - i_3) - e_2 (i_3 - i_2).$$

Si donc les deux wattmètres sont montés comme l'indique la figure 1 la puissance totale sera la *somme algébrique* des deux lectures

$$\frac{1}{T}\int_0^T e_1 (i_1 - i_3)\, dt \qquad \text{et} \qquad -\frac{1}{T}\int_0^T e_2 (i_3 - i_2)\, dt,$$

données par les deux wattmètres

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 390.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 16 mars 1896.

(3) Voir BLONDEL : *Lumière électrique*. Vol. LXVI, p. 139, 1893. BEHN-ESCHENBURG, ARON GORGES. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1893. *L'Industrie Électrique*. déc. 1895. *Elettricita*, août 1895. ERIC GIRARD, *Mesures électriques*.

Il peut y avoir un certain intérêt à connaître les puissances fournies ou absorbées séparément par chacun des trois circuits. Si l'on peut intercaler un wattmètre dans chacun des côtés du triangle A B C, rien n'est plus simple ; mais malheureusement ceci est rarement possible.

Il est alors impossible de connaître en général la puissance dans chaque circuit, toutefois la plupart des appareils à courants tri-

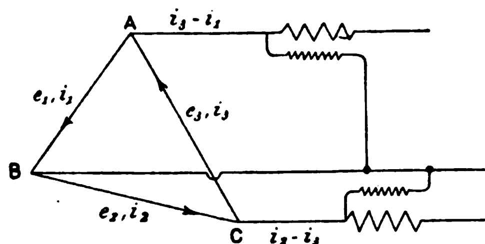


Fig. 1. — Montage de deux wattmètres pour la mesure de la puissance totale, par la somme algébrique de deux lectures, d'une puissance triphasée quelconque (circuits en triangle).

phasés étant symétriques, le voltage induit dans chaque phase, s'il s'agit d'un générateur, étant sensiblement le même ainsi que la résistance de chaque circuit, l'on a comme conséquence de cette symétrie l'égalité :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0. \text{ (}^1\text{)}$$

L'expression $3\, e_1\, i_1$ peut alors s'écrire :

$$2\, e_1\, i_1 - e_1\, (i_2 + i_3),$$

ou

$$e_1\, [(i_1 - i_2) - (i_3 - i_1)].$$

On voit donc que pour avoir *en une seule lecture* la puissance dans le circuit d'indice 1, il suffit de mettre (fig. 2) les deux bobines fixes du wattmètre universel dans les circuits extérieurs qui aboutissent aux bornes du circuit considéré en ayant soin de disposer ces bobines de façon à ce que leurs sens d'enroulement soient contraires. La bobine à fil fin et sa résistance en série étant mis en dérivation aux bornes du circuit considéré, le wattmètre indiquera une puissance triple de celle cherchée ([1]).

La constante à prendre du wattmètre est celle qui correspondrait à une seule bobine à gros fil en circuit.

On opérerait de même avec deux autres

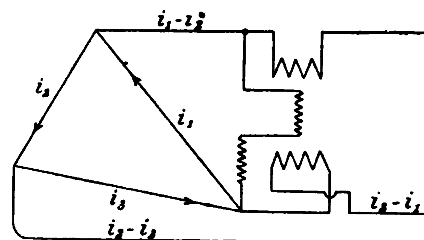


Fig. 2. — Montage d'un wattmètre universel pour la mesure de la puissance dans un des circuits d'un appareil triphasé symétrique, équilibré ou non (circuits en triangle).

wattmètres universels pour obtenir la puissance dans chacune des deux autres phases.

La vérification de l'identité :

$$3\, i_1 = (i_1 - i_2) - (i_3 - i_1),$$

est immédiate géométriquement, comme on peut s'en rendre compte sur la figure 3 ; c'est elle qui suggère l'emploi du facteur 3.

La mesure des puissances absorbée ou fournie séparément par chaque circuit exige donc trois wattmètres universels. Si l'on voulait obtenir le même résultat avec des wattmètres

---

([1]) Si l'on veut bien admettre les notations sous formes d'imaginaires de M. Steinmetz en désignant par E_1, E_2, E_3, les forces électromotrices induites ; on a, en effet, l'identité

$$E_1 - R\, i_1 + E_2 - R\, i_2 + E_3 - R\, i_3 = 0 ;$$

si $$E_1 + E_2 + E_3 = 0,$$

on a aussi $$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

([1]) Cette combinaison n'est pas la seule possible, mais c'est la plus simple.

En effet, la question revient à chercher les valeurs de α, β, γ, telles que l'équation

$$\alpha\, (i_1 - i_2) + \beta\, (i_2 - i_3) + \gamma\, (i_3 - i_1) = 3\, i_1,$$

soit satisfaite quels que soient i_1 et i_2 (i_3 étant lié aux deux autres par $i_1 + i_2 + i_3 = 0$).

L'identification conduit à

$$\alpha - \gamma = 2$$

et $$\beta - \gamma = 1.$$

Il y a donc une infinité de combinaisons dont la plus simple est

$$\beta = 0 \qquad \alpha = 1 \qquad \gamma = -1.$$

ordinaires il en faudrait six, ayant à mesurer séparément les deux termes de l'expression :

$$\frac{1}{T}\int_0^T e_1 \left[(i_1 - i_2) - (i_3 - i_1)\right] dt,$$

et des deux analogues.

Toutefois, si l'on consent à ne pas faire les 6 lectures simultanément, trois suffiront encore, mais comporteront chacun deux lectures successives avec le même courant et les différences de potentiel comprises entre la borne où arrive le câble sur lequel est branché le wattmètre et les deux autres. Dans tous les

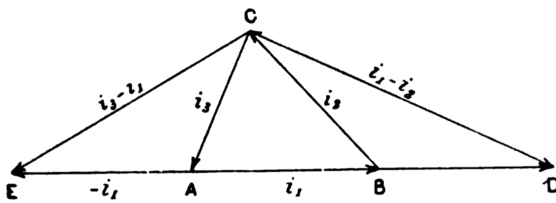


Fig. 3. — Combinaison des champs i_3-i_1 et i_1-i_2, pour obtenir le champ $3\,i_1$.

cas, ces six lectures doivent être affectées d'un signe convenable et du coefficient $\frac{1}{3}$ pour donner par différence algébrique les puissances cherchées.

b). Montage en étoile. — On a sans aucune hypothèse (lemme de Kirchhoff) :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

identité qui, transportée dans l'expression générale :

$$\frac{1}{T}\int_0^T (e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3)\, dt,$$

permet de la mettre sous la forme

$$\frac{1}{T}\int_0^T \left[i_1 (e_1 - e_3) - i_2 (e_3 - e_2)\right] dt.$$

Comme dans le cas précédent, la puissance totale s'obtiendra avec le montage de la figure 4 en faisant la *somme algébrique* des deux lectures :

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_1 (e_1 - e_3)\, dt \qquad \text{et} \qquad -\frac{1}{T}\int_0^T i_2 (e_3 - e_2)\, dt,$$

données par les deux wattmètres.

L'obtention de la puissance fournie ou consommée dans chaque circuit est en général subordonnée à l'accessibilité du point neutre; si ce dernier n'est pas accessible, la puissance de chaque phase ne peut être mesurée que dans le cas d'appareils symétriques, l'identité :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

entraînant alors comme conséquence la suivante :

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

L'emploi des wattmètres universels est ici plus compliqué que dans le cas précédent et revient à celui de wattmètres ordinaires, ce qui s'explique facilement puisque ces appareils ne sont en somme doublés que par leur gros fil.

Il faudrait pour n'avoir qu'une seul lecture disposer deux enroulements différents à fil fin sur le cadre mobile. Nous y reviendrons plus loin.

Le produit $3\, e_1 i_1$ pouvant s'écrire :

$$2\, e_1 i_1 - i_1 (e_2 + e_3),$$

ou

$$i_1 (e_1 - e_3) - i_1 (e_2 - e_1),$$

on voit qu'il faut six wattmètres ordinaires montés deux par deux dans chaque câble aboutissant aux bornes de l'appareil et ayant leur fil fin branché entre la borne considéré et chacune des deux autres. Trois appareils suffiront si l'on veut faire sur chacun deux lectures successives, en laissant fixe l'une des extrémités du fil fin de chaque wattmètre et en plaçant l'autre successivement sur les deux autres bornes ; dans ce cas, c'est la *somme algébrique* des deux lectures

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_1 (e_1 - e_3)\, dt \quad \text{et} \quad \frac{1}{T}\int_0^T i_1 (e_1 - e_2)\, dt,$$

faites avec un même wattmètre qui donne la puissance absorbée ou fournie par le circuit d'indice 1.

M. Blondel dans une étude sur la mesure de la puissance dans un système polyphasé a établi (1) sans les séparer les formules précé-

(1) *Comptes rendus* et *Lumière Electrique*, janvier 1893.

dentes dans les deux cas généraux de montage des circuits.

Le procédé de démonstration employée par M. Blondel lui a permis de tirer un mode de montage des wattmètres très avantageux dans le cas du montage en étoile permettant d'obtenir dans le cas le plus général la puissance dans un des circuits avec un seul appareil, ce qu'on ne peut faire ici, même dans le cas particulier d'un appareil symétrique comme nous venons de le voir, avec un wattmètre universel.

Constituons à l'aide de trois résistances non-inductives égales r un circuit étoilé que nous brancherons aux bornes du premier ou sur les conducteurs qui y aboutissent, r étant

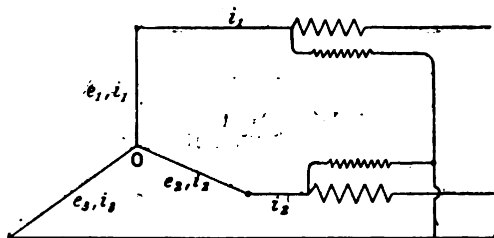


Fig. 4. — Montage de deux wattmètres pour la mesure de la puissance totale par la somme algébrique de deux lectures d'une puissance triphasée quelconque (circuits en étoile).

assez grand pour que les courants dérivés soient négligeables.

Soient, e'_1, e'_2, e'_3 les voltages simples pris entre le point neutre et chaque extrémité de ce circuit auxiliaire et i''_1, i''_2, i''_3, les intensités dans la branche. De l'identité :

$$i'_1 + i'_2 + i'_3 = 0,$$

on déduit évidemment :

$$e'_1 + e'_1 + e'_1 = 0;$$

d'autre part on a :

$$e'_1 - e'_2 = e_1 - e_2$$
$$e'_3 - e'_3 = e_2 - e_3$$
$$e_3 - e'_1 = e_3 - e_1.$$

Ces quatre relations montrent que

$$e_1 = e_1$$
$$e'_2 = e_2$$
$$e'_3 = e.$$

On voit donc que le point neutre du circuit auxiliaire peut servir de point neutre pour le circuit dont on veut mesurer la puissance. On peut par suite avec ce dispositif de point neutre auxiliaire mesurer la puissance dans une branche quelconque d'un circuit étoilé et cela dans le cas le plus général c'est à dire sans l'hypothèse de la symétrie du circuit ou sans l'égalité :

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0.$$

Au lieu d'employer une bobine double a fil fin pour ramener les deux lectures à une seule dans la mesure de la puissance dans un des circuits, on peut encore faire usage d'un dispositif dû à M. Behn-Eschenburg.

Ce dispositif consiste, tout en laissant l'une des extrémités de la bobine à fil fin en connexion avec la bobine où aboutit le conducteur qui traverse la bobine à gros fil, à réunir l'autre aux deux autres bornes à travers des résistances non-inductives égales.

Le courant traversant le cadre mobile est alors proportionnel à $(e_1 - e_2) - (e_3 - e_1)$ ou à $3\,e_1$. L'appareil donne donc le triple de la puissance du circuit considéré et non, comme l'avait cru M. Behn-Eschenburg, la puissance totale.

2° *Puissance triphasée équilibrée.* — Ce cas, rentre dans ceux étudiés plus haut et caractérisés par les deux identités ·

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0$$
$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Les trois ou six lectures suivant les cas, vont se réduire ici à une ou deux, et, comme nous le verrons, toujours à une seule avec l'emploi du wattmètre universel ou du dispositif de M. Behn-Eschenburg.

a). *Montage en triangle.* — Nous avons vu (fig. 2) que si l'on faisait traverser les deux bobines à gros fil du wattmètre universel respectivement, mais en sens contraire, par les courants issus des bornes entre lesquelles on branche la bobine à fil fin et sa résistance, la lecture du wattmètre donnerait la valeur de l'expression :

$$3\,\frac{1}{T}\int_0^T e_1\, i_1\, dt,$$

c'est à dire dans le cas actuel la puissance totale cherchée (¹).

L'emploi de wattmètres ordinaires semblerait d'après ce que nous avons vu plus haut, exiger deux appareils. Cela est vrai seulement dans le cas où l'on veut faire deux mesures simultanées. On peut n'employer qu'un seul appareil sur lequel on fait deux lectures avec deux différences de potentiel différentes et le même courant.

Cette propriété ne dérivant pas du cas général doit être établie directement.

On sait que la puissance totale s'obtient en faisant la *somme algébrique* des lectures obtenues en plaçant le gros fil du wattmètre dans l'un des conducteurs et laissant fixe l'extrémité de la bobine à fil fin en communication

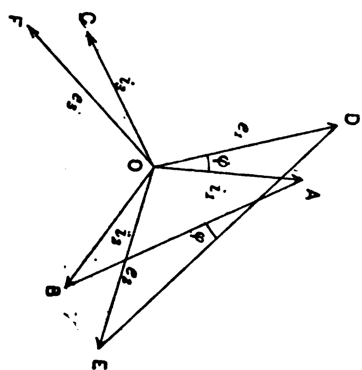


Fig. 5.

avec ce même conducteur et en plaçant l'autre extrémité sur l'une ou l'autre des deux bornes restantes.

La démonstration géométrique en est très simple. Si l'on représente (fig. 5) par e_1, e_2, e_3 les vecteurs des tensions et par i_1, i_2, i_3 ceux des intensités, on a à montrer que :

$$\frac{1}{T}\int_0^T (e_1 - e_2)(i_1 - i_2)\, dt = 3\,\frac{e\,i}{2}\cos\varphi.$$

Les différences géométriques $e_2 - e_1$ et $i_1 - i_2$ représentées en AB et DE ont en effet pour valeur $e\sqrt{3}$ et $i\sqrt{3}$, de plus leur angle est évidemment φ. Les déviations du wattmètre sont donc proportionnelles à $e\sqrt{3}\, i\sqrt{3}\cos\varphi$ ou à $3\frac{ei}{2}\cos\varphi$.

La démonstration algébrique est aussi simple. Toutes deux montrent que si l'on désigne par :

$$e_1 = e\sin\frac{2\pi t}{T},$$

$$e_2 = e\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{1}{3}\right),$$

$$e_3 = e\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{2}{3}\right),$$

les différences de potentiel aux bornes et par :

$$i_1 = i\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right),$$

$$i_2 = i\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi + \frac{1}{3}\right),$$

$$i_3 = i\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi + \frac{2}{3}\right),$$

les intensités, les valeurs des deux lectures ·

$$\lambda_1 = \frac{1}{T}\int_0^T (i_1 - i_2)\, e_1\, dt$$

et

$$\lambda_2 = -\frac{1}{T}\int_0^T (i_1 - i_2)\, e_2\, dt,$$

sont

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}\, ei\sin 2\pi\left(\frac{1}{6} - \varphi\right)$$

et

$$\lambda_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}\, ei\sin 2\pi\left(\frac{1}{6} + \varphi\right).$$

La somme algébrique des deux a bien pour valeur

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 3\,\frac{ei}{2}\cos 2\pi\varphi.$$

La différence algébrique est :

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \sqrt{3}\,\frac{ei}{2}\sin 2\pi\varphi.$$

Ces deux égalités permettent de déduire l'angle de décalage $2\pi\varphi$ par l'expression

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}\sqrt{3},$$

sans connaître e et i.

On voit de plus qu'une seule des lectures est toujours de même signe quel que soit le décalage, l'autre change de signe quand celui-ci passe par 60°.

(¹) C'est cette application du wattmètre universel que nous a signalée M. Blondel et que nous avons généralisée plus haut.

Le dispositif de M. Behn-Eschenburg permet encore ici de ramener les deux lectures à une seule.

b). *Montage en étoile*. — Comme dans le cas précédent il suffit, si le point neutre n'est pas accessible, de deux wattmètres simples pour obtenir la puissance totale par deux lectures simultanées et d'un seul appareil si l'on veut faire les deux lectures successivement.

Un calcul semblable conduirait à des valeurs identiques aux précédentes pour les deux lectures dont on doit faire la somme algébrique si l'on procède de la même façon.

Le wattmètre universel permet de réduire ces deux lectures à une seule. Cela se conçoit immédiatement si l'on veut bien remarquer que la démonstration géométrique (fig. 5) faite plus haut est indépendante de la disposition des circuits. Il suffit de décomposer la somme

$$(e_1 - e_2)(i_1 - i_2),$$

en deux autres

$$(e_1 - e_2)\, i_1 \quad \text{et} \quad -(e_1 - e_2)\, i_2,$$

qui montrent immédiatement que l'on doit faire traverser les bobines du wattmètre l'une dans un sens, l'autre dans le sens contraire respectivement par les courants i_1 et i_2 et mettre le fil fin en dérivation entre les bornes où aboutissent ces courants.

Les procédés du point neutre auxiliaire de M. Blondel et de M. Behn-Eschenburg signalés plus haut pour obtenir la puissance dans une branche quelconque sont naturellement applicables ici, où ils donnent le premier le tiers de la puissance totale avec un seul wattmètre et le second cette puissance totale également avec un seul wattmètre.

COURANTS DIPHASÉS.

Nous aurons peu de choses à dire des courants diphasés par suite de la simplicité de ce cas. Il est en effet de toute évidence que deux wattmètres sont nécessaires pour obtenir la puissance totale si les deux circuits ne sont pas équilibrés. Un seul suffira avec une seule mesure si les circuits sont équilibrés.

Le wattmètre universel dans ce dernier cas permettra d'avoir, dans le cas d'un fil de retour commun, la puissance totale avec un montage un peu différent consistant à faire tourner chacun par un des deux courants, mais en sens contraire, les deux bobines à gros fil du wattmètre et en plaçant le fil fin

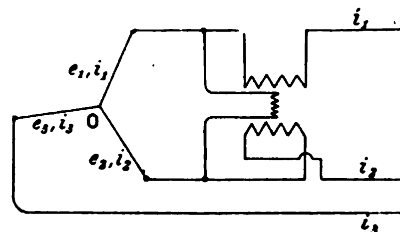


Fig. 6. — Montage d'un wattmètre universel pour la mesure de la puissance totale par une seule lecture dans un appareil équilibré (circuits en étoile).

en dérivation entre les bornes d'où partent ces courants.

La mesure obtenue est :

$$\frac{1}{T}\int_0^T (e_1 - e_2)(i_1 - i_2)\, dt,$$

qui n'est autre que $\frac{2ei}{2}\cos\varphi$ comme le montre une démontration géométrique analogue à celle donnée plus haut.

En résumé on voit que l'emploi du wattmètre universel et du dispositif de M. Behn-Eschenburg permettent dans la plupart des cas de réduire le nombre des lectures à faire.

F. GUILBERT.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA POLARISATION ROTATOIRE MAGNÉTIQUE

RÉSULTATS RELATIFS A LA DISPERSION ROTATOIRE MAGNÉTITE *(Suite)* [1]

Les différents corps étudiés peuvent se classer en trois groupes :

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 162 ; 25 juillet.

1° *Liquides absorbant la partie la plus réfrangible du spectre.* — (Perchlorure d'antimoine, iodomercurate, perchlorure de fer, ferricyanure). Ces liquides sont caractérisés par une variation très rapide du pouvoir rotatoire, qui croît très rapidement à mesure que la longueur d'onde diminue.

La figure 3 représente les résultats se rapportant au perchlorure d'antimoine et à l'iodomercurate : on voit que ces deux courbes, ont des ordonnées nettement plus grandes que celles de la courbe relative au sulfure de carbone. On remarque en outre, sur la courbe relative à l'iodomercurate, que la courbe s'élève surtout rapidement à partir du vert, c'est à dire dans les régions où l'absorption devient très sensible.

Elle s'élève plus rapidement que la courbe relative au perchlorure d'antimoine, pour lequel l'absorption croît moins rapidement, de telle sorte qu'on peut encore faire des mesures pour la longueur d'onde 459.

Les deux autres solutions (ferricyanure de potassium, perchlorure de fer) présentent aussi une variation très rapide des rotations. (Les nombres observés varient même plus rapidement que les rapports des quatrièmes puissances des longueurs d'onde). Il est vrai que pour ces deux corps, les anomalies de la dispersion rotatoire sont accentuées par suite de la présence du dissolvant dont le pouvoir rotatoire propre intervient (1). Tandis que dans les autres corps étudiés, dont le pouvoir rotatoire est positif, ce pouvoir rotatoire du

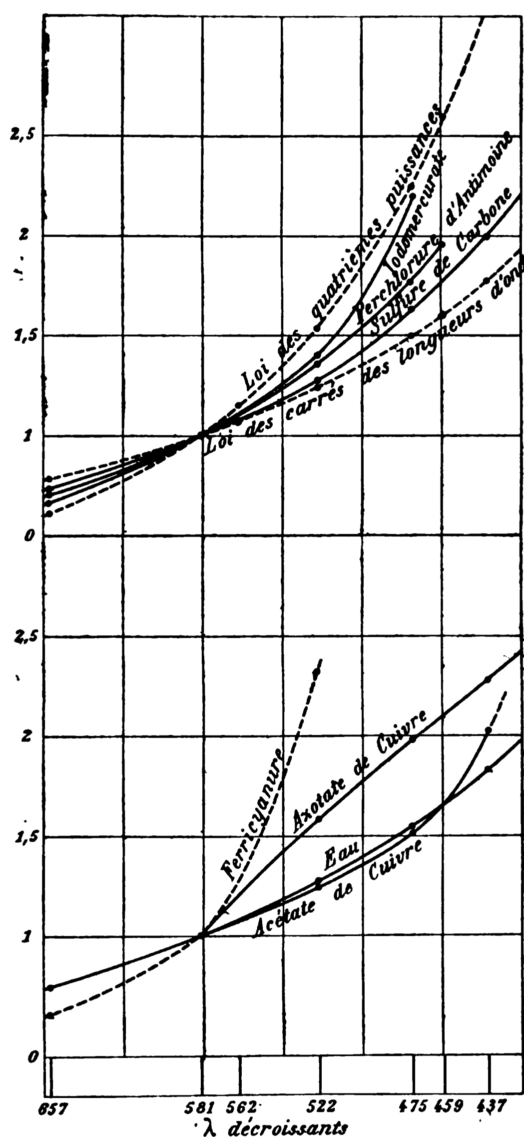


Fig. 3 et 4.

dissolvant s'ajoutait à celui du corps dissous, ici, il s'en retranche et diminue les rotations négatives observées.

(1) M. Becquerel avait déjà fait cette remarque à propos des solutions de chlorure ferrique.

Il avait été conduit par ses expériences sur ce liquide, et sur le bichlorure de titane, à admettre que les rotations pour le perchlorure variaient en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde, et que cette loi représentait le mode de dispersion des corps magnétiques ou se comportant comme des corps magnétiques par leur action sur la lumière polarisée. C'est à cette propriété de ces corps de faire tourner, en sens contraire des autres, le plan de polarisation, qu'il rattachait ce mode particulier de dispersion. Mais nous avons rencontré plus haut des corps doués d'une rotation positive, et qui ont dans le voisinage d'une bande d'absorption une variation aussi rapide de leur pouvoir rotatoire. D'ailleurs M. Becquerel n'a pas trouvé la même loi de dispersion pour le protochlorure de fer, qui a un pouvoir rotatoire négatif comme le perchlorure, mais qui ne présente plus la coloration intense de solutions de chlorure ferrique.

C'est donc surtout à l'absorption que nous rattacherons cette augmentation si rapide du pouvoir rotatoire avec la réfrangibilité.

Mais on trouve encore une variation très rapide, si l'on fait la correction tenant à l'influence du dissolvant, en admettant même que celui-ci reste tout entier inaltéré dans la solution.

2° *Liquides absorbant la partie la moins réfrangible du spectre.* — La solution saturée d'azotate de cuivre, qui absorbe surtout l'extrémité rouge du spectre visible, nous a donné un pouvoir rotatoire positif très net (fig. 2, p. 165). Or, dans le voisinage de la bande d'absorption, la courbe de dispersion rotatoire diffère très nettement de la courbe relative à un corps transparent. La rotation produite par la solution est égale à celle de l'eau distillée pour la radiation (orangé) de longueur d'onde 581 pour laquelle l'absorption est déjà très sensible ; les rotations augmentent ensuite rapidement avec la réfrangibilité.

Si on représente ces résultats en prenant comme unité la rotation pour la radiation 581 on obtient la courbe de la figure 4 qui montre bien combien la dispersion rotatoire de la solution diffère de celle relative à l'eau distillée. Les rotations varient encore très rapidement, avec la longueur d'onde, dans le voisinage de la bande d'absorption : mais la courbe présente cette fois sa concavité vers les λ décroissants, tandis que tout l'heure, on observait le phénomène inverse.

Sur la figure 4 on a représenté, en outre, les rapports des rotations représentant la loi de dispersion d'un des liquides étudiés précédemment, le ferricyanure de potassium. Cette figure, ainsi que la figure 3, montre bien à quel point la loi de dispersion rotatoire varie lorsque l'absorption s'exerce sur des radiations différentes.

3° *Liquides absorbant les deux extrémités du spectre visible.* — Les deux derniers liquides cités (acétate de cuivre, chlorure de nickel) sont des liquides verts, absorbant le rouge et le violet.

Le mode de dispersion de ces deux substances pour les radiations comprises entre les deux bandes est à peu près le même. Mais les observations sur l'acétate de cuivre ont pu être étendues plus loin et montrent bien l'ascension rapide de la courbe lorsqu'on approche d'une bande d'absorption en allant du rouge au violet. Les rotations, inférieures à celles de l'eau distillée pour l'orangé, deviennent supérieures pour le violet.

La courbe représentée dans la figure 4 représentant les rapports des rotations montre bien l'influence de la bande d'absorption située dans le violet ; on voit combien cette courbe relative au sel de cuivre vert, diffère de la courbe relative à la solution bleue d'azotate.

Autres liquides. — Il résulte des exemples que nous venons de citer que lorsqu'on approche d'une bande d'absorption en allant du rouge au violet, on voit la courbe de dispersion rotatoire s'élever rapidement, passant au-dessus de celle qu'on obtiendrait si le corps était complètement transparent. Au contraire, si l'on approche d'une bande en allant en sens contraire, du violet vers le rouge, les rotations décroissent plus rapidement, la courbe passant au-dessous de celle relative à un corps transparent.

Si donc on pouvait faire des mesures dans toute l'étendue d'une bande d'absorption, on trouverait que la couche de dispersion rotatoire ne garderait pas l'allure régulière, sans inflexions, qu'on observe avec un corps transparent. Elle présenterait en particulier un point d'inflexion dans l'intérieur d'une bande, compris entre une valeur maxima et une valeur minima du pouvoir rotatoire. Cette courbe ressemblerait à celles qui sont représentées dans la fig. 5.

J'avais pu observer ce point d'inflexion, dans des mesures que j'avais faites dans l'intérieur d'une bande, sur des liquides naturellement actifs. J'ai cherché à le mettre en évidence pour des liquides placés dans un champ magnétique, en étudiant des liquides tels que des solutions de chlorure de cobalt, de chlorure chromique, de chlorure de nickel ammoniacal,

qui présentent une bande d'absorption au milieu du spectre visible. Mais je n'ai pu faire des mesures dans ces bandes qu'en diminuant

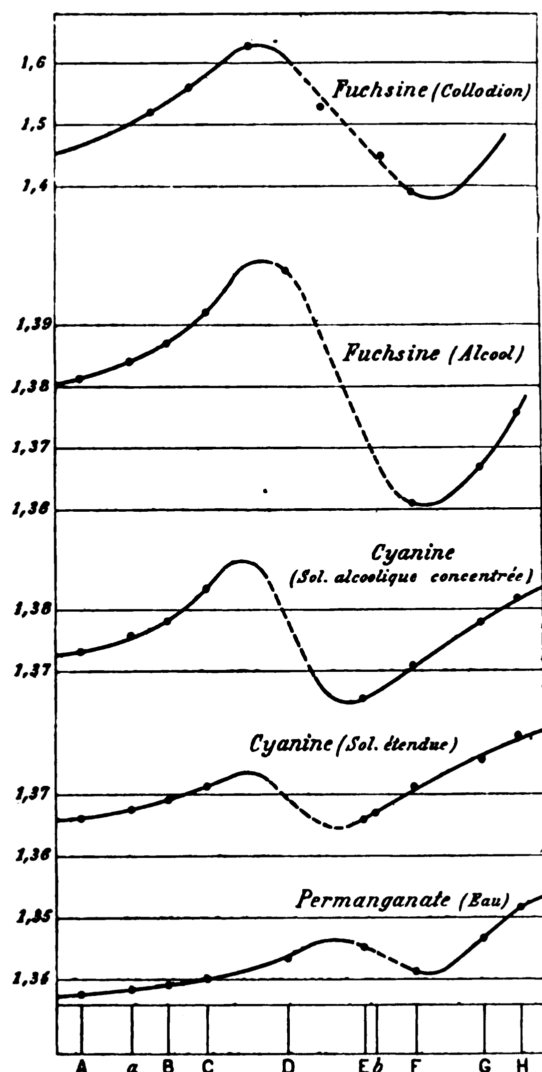


Fig. 5.

beaucoup la concentration, et alors le pouvoir rotatoire observé ne se distinguait pas assez de celui du dissolvant (eau distillée) pour que je rapporte ici les résultats.

Les mesures faites avec des solutions plus concentrées de ces liquides, ont d'ailleurs confirmé les remarques faites plus haut : Ainsi, avec le chlorure de cobalt, la rotation de la solution est nettement supérieure à celle de l'eau pour la radiation $\lambda = 562$ située au commencement de la bande d'absorption du côté du rouge ; tandis qu'elle ne dépasse celle de l'eau pour la radiation 437 situé de l'autre côté, que d'une quantité très faible, égale aux erreurs d'expérience. Même remarque pour la solution du chlorure chromique : La rotation est supérieure à celle de l'eau distillée pour la radiation 657, dans le rouge : elle ne s'en distingue plus pour la radiation 522, dans le vert, à l'autre extrémité de la bande.

Conclusion. — *Cette dispersion rotatoire anomale des corps absorbants apparaît ainsi comme un fait général qui contribuera sans doute à expliquer les différences déjà constatées entre les lois de dispersion rotatoire des divers corps.*

Il convient d'examiner soigneusement l'influence que peut exercer une bande d'absorption, dans les recherches ou l'on compare entre eux les différents corps d'après la valeur de leur pouvoir rotatoire magnétique.

Interprétation de ces résultats

Ces résultats relatifs à la dispersion rotatoire des corps absorbants peuvent s'expliquer très facilement : on peut les rattacher à la considération des deux vibrations circulaires inverses.

Dans une région du spectre où se trouve une bande d'absorption, la courbe figurant les variations de l'indice d'un corps en fonction de la longueur d'onde, ne garde pas l'allure régulière, sans points d'inflexions, qui est propre aux corps transparents : cette courbe présente dans cette région une sorte de sinuosité qui indique que l'absorption modifie la vitesse de propagation. Parfois, cette modification de la courbe des indices est particulièrement nette, et différents savants ont pu, par diverses méthodes, étudier directement cette dispersion anomale (vapeur d'iode, fuschsine, cyanine etc...)

Dans la figure 5 j'ai construit des courbes représentant quelques-uns de leurs résultats ; et qui montrent que cette modification de la courbe des indices est à peu près la même

pour les différents composés étudiés [1]. Dans cette figure, j'ai marqué en traits interrompus les portions comprises dans les bandes d'absorption.

Ces courbes représentent les valeurs de l'indice n : on aurait des courbes de formes peu différentes si l'on prenait comme ordonnées les valeurs de $\frac{n}{\lambda}$.

On peut faire sur ces courbes les remarques suivantes : Supposons qu'on examine les diverses radiations en allant du rouge au violet. Lorsqu'on approche d'une bande d'absorption, la courbe s'élève, les ordonnées croissent plus rapidement que s'il s'agissait d'un corps transparent. Au contraire, supposons qu'on parte du violet et qu'on approche encore d'une bande, on observe une décroissance de l'indice plus rapide qu'avec un corps transparent.

Il y a dans une bande d'absorption un maximum et un minimum de l'indice, et sur la courbe, entre les deux, un point d'inflexion.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'un corps doué du pouvoir rotatoire (magnétique) et figurons les deux courbes représentant en fonction de la longueur d'onde les indices n_1, n_2 des deux rayons circulaires inverses, ou plutôt les valeurs de $\frac{n_1}{\lambda}, \frac{n_2}{\lambda}$: ces courbes présenteront toutes deux une modification dans la bande d'absorption. Si l'absorption des deux sortes de rayons est la même, les deux courbes auront la même forme et présenteront la même modification. Il en résulte que l'on verra dans la courbe de dispersion rotatoire, une modification correspondante ; puisque le pouvoir rotatoire est proportionnel à la différence des ordonnées des deux courbes précédentes :

$$\rho = \pi\left(\frac{n_1}{\lambda} - \frac{n_2}{\lambda}\right).$$

On verra cette courbe, elle aussi, s'élever rapidement lorsqu'en partant du rouge, on approche de la bande ; s'abaisser rapidement lorsqu'on s'en rapproche de l'autre côté en partant du violet. Or, c'est ce que les expériences nous ont montré.

La dispersion *rotatoire* anormale des milieux colorés peut donc s'interpréter simplement par la considération des deux vibrations circulaires de Fresnel. Il suffit d'admettre que la dispersion rotatoire anormale est un fait très général, bien que la mesure directe des indices ne permette que rarement de le découvrir. La mesure des rotations, qui constitue un procédé interférentiel très sensible pour comparer les indices des deux rayons circulaires, nous renseigne ainsi indirectement sur la loi reliant chacun d'eux à la longueur d'onde.

ABSORPTION DE LA LUMIÈRE PAR LES LIQUIDES PLACÉS DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

Ainsi que je l'ai dit précédemment, l'appareil servant aux mesures de pouvoir rotatoire dont je viens de rapporter les résultats, pouvait servir aussi à rechercher si dans un milieu placé dans un champ magnétique, un rayon circulaire droit et un rayon circulaire gauche sont absorbés inégalement. Il suffisait de placer entre le quart d'onde et la lame de Bravais l'électro-aimant et la cuve renfermant le liquide coloré, et d'observer si la coïncidence des franges persistait après le changement de sens du courant [1].

[1] Ces courbes se rapportent à des corps pour lesquels la dispersion anormale a été étudiée de diverses façons par plusieurs physiciens ; j'ai choisi parmi leurs résultats ceux qui donnaient le plus de renseignements sur la forme de la courbe dans les bandes d'absorption. La courbe 1 se rapporte à la fuchsine colorant une pellicule de collodion (Bloch, *C. R.* 1890-93). La courbe 2 à la fuchsine en solution alcoolique (résultats de Kundt, d'accord avec ceux de Hurion). Les courbes relatives à la cyanine et au permanganate représentent aussi des résultats de Kundt (*Ann. de Ch. et Ph.*, t. XXV (4), 1872).

Sur la dispersion de la fuchsine, voir un travail récent de Tscheglaïew qui a étudié des solutions concentrées dans l'aniline (*Journal de Physique*, 1895).

[1] Lorsque la rotation est très grande, par exemple avec l'iodomercurate de sodium, les franges disparaissent complètement lors du passage du courant : il faut tourner l'analyseur pour les faire réapparaître, ou bien compenser la rotation par l'interposition d'une cuve

J'ai fait cette recherche avec les liquides colorés étudiés plus haut, et avec quelques autres. *Le résultat a toujours été négatif.* Une vibration reste rectiligne en se propageant dans les liquides étudiés, elle subit simplement une rotation. Les absorptions des deux sortes de rayons circulaires ne présentent donc pas de différence sensible.

J'ai vérifié ce résultat par une méthode directe : je me suis servi d'un double polariseur circulaire constitué par un nicol et une lame quart d'onde formée de deux parties juxtaposées dont les axes sont à angle droit. On obtient ainsi deux plages lumineuses identiques et contigües, envoyant l'une de la lumière circulaire droite, l'autre de la lumière gauche, que l'on regarde à travers les armatures d'un électro-aimant entre lesquelles est placé le milieu coloré. J'ai étudié, par ce procédé, outre des solutions de sulfate de cuivre, de chlorure chromique, de chlorure ferrique, etc. des lames de verre coloré que je n'avais pas étudiés par l'autre méthode : je n'ai pas observé de différence d'éclat sensible entre les deux plages, même en faisant passer dans l'électro-aimant un courant de 20 ampères environ, fourni par une dynamo.

Je n'ai donc, dans aucun cas, rencontré, avec les milieux colorés étudiés dans un champ magnétique, cette absorption inégale, observé sur quelques liquides naturellement actifs.

Je crois cependant que de tels milieux peuvent présenter ce phénomène et qu'un exemple nous en est fourni par le *fer aimanté*.

Lorsqu'une vibration rectiligne traverse normalement une lame très mince de fer, perpendiculaire aux lignes de force d'un champ magnétique, on observe que cette vibration tourne dans le sens du courant magnétisant. Cette rotation, découverte par Kundt [1], étudiée aussi par H. E. J. G. Du Bois [2] est très considérable si l'on considère la faible épaisseur de la lame. Pour la lumière rouge, et un champ de 2 000 unités, cette rotation (qui est alors maxima), serait de 200 000 degrés pour un centimètre d'épaisseur. Les mesures de Lobach [3] ont montré que la dispersion rotatoire est *nettement anormale*.

Mais en outre la vibration transmise n'est plus rectiligne. M. A. Righi a découvert en 1886 [4] qu'elle a été transformée en une vibration *elliptique* qui est de même sens que le courant magnétisant. M. Righi a évalué le rapport des axes de cette ellipse. Avec une lame de fer, d'un brun violacé, déposée par électrolyse du sulfate ammoniacal, sur une glace de verre légèrement argentée, il a trouvé pour le rapport des axes tang $15'$ ou $\frac{1}{229}$. Dans le champ magnétique employé la lame de verre argenté, d'un peu plus de un millimètre d'épaisseur, faisait tourner de $20'$ environ le plan de polarisation des rayons rouges, et le

renfermant un liquide actif transparent. Cette dernière méthode est préférable, parce qu'elle élimine des erreurs qu'un défaut de réglage de l'appareil pourrait introduire lorsque le pouvoir rotatoire est grand (se reporter au travail cité).

(1) Kundt. *Wied. Ann.*, t. XXVII, p. 195, 1886.

(2) Du Bois. *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 760, 1887.

(3) Lobach. *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 346, 1890.

(4) Righi. *Mémoires de l'Académie royale de Bologne*, 1886, ou *Nuovo Cimento*, 1887.

L'appareil qui a servi à M. Righi était un appareil à pénombre. Un faisceau de lumière solaire, filtré par un verre rouge, polarisé par un nicol, traversait la lame de fer, puis une lame polariscopique et un analyseur. Cette lame polariscopique, analogue en apparence à celle de Bravais, était disposée d'une façon différente. Elle était formée de deux « quarts d'onde » dont les sections principales étaient réglées rigoureusement à angle droit, et il orientait ces sections suivant les deux axes de l'ellipse. La polarisation rectiligne était alors rétablie suivant deux directions différentes pour les deux moitiés de la lame ; l'extinction des deux moitiés du champ ne se produisait plus simultanément, ce qui mettait bien en évidence le caractère elliptique de la vibration. — L'angle des deux azimuts d'extinction renseignait immédiatement sur le rapport des axes de l'ellipse ; mais il ne semble pas que ces azimuts d'extinction puissent être ainsi déterminés, avec une précision suffisante, lorsque le faisceau traverse un corps absorbant. Je crois que, *pour les mesures*, l'emploi d'un compensateur indépendant de l'appareil polariscopique serait préférable.

fer produisait à lui seul une rotation à peu près égale.

Voici quelle théorie M. Righi a donnée de ce phénomène, théorie qui avait précédé et suggéré les expériences. Les deux rayons circulaires inverses ayant dans le fer aimanté des vitesses différentes, doivent *se réfléchir inégalement* sur les faces extrêmes de la lame de fer. Partant de là, M. Righi calcule, par les formules de Fresnel, en admettant pour l'indice du fer une valeur supérieure à l'unité, les amplitudes des deux rayons et le rapport des axes de l'ellipse transmise. Le résultat ainsi calculé s'est trouvé l'ordre de grandeur de celui qui a eté mesuré ensuite.

Les formules de Fresnel pour la réflexion sur la surface des milieux transparents ne semblent pas pouvoir s'appliquer, sans modifications, à un milieu absorbant comme le fer. Il est bien possible que les réflexions affaiblissent inégalement les deux sortes de rayons; mais il faut se demander si dans l'intérieur même de la lame, ils ne subissent pas des absorptions différentes qui expliqueraient aussi le caractère elliptique de la vibration transmise.

Cette hypothèse avait déjà été émise par H. J. G. Du Bois, qui l'avait proposée, entre autres explications [1], pour interpréter ce fait qu'il avait observé de son côté en faisant ses mesures de rotation magnétique: l'extinction d'un faisceau traversant une lame de fer entre deux nicols lui apparaissait notablement « plus mauvaise » lorsque le fer était aimanté.

Les expériences que j'ai faites sur les liquides actifs, où l'inégalité des absorptions produit des vibrations elliptiques bien plus marquées, me conduisent à admettre volontiers cette explication. Pour savoir si elle est fondée, il faudrait voir comment l'ellipticité varie avec l'épaisseur. M. Righi a bien opéré avec trois lames d'épaisseurs différentes, mais il ne rapporte que les résultats se rapportant à la lame la plus mince, qui lui a donné, dit-il, les résultats « les plus sûrs ».

Quoiqu'il en soit, que les deux rayons soient inégalement absorbés ou seulement inégalement réfléchis; c'est toujours la considération de ces deux rayons qui permet d'interpréter le phénomène découvert par M. Righi.

Or cette considération nous a permis aussi d'expliquer simplement les caractères de la dispersion rotatoire des milieux absorbants. La conclusion de ce travail sera donc : qu'on peut rattacher simplement à la double réfraction circulaire tous les faits se rapportant à la polarisation rotatoire ordinaire ou magnétique.

M. Cotton
Maitre de conférences
à la Faculté des Sciences de Toulouse.

([1]) « Lorsqu'on excite l'électroaimant l'extinction est « notablement plus mauvaise. Cela peut provenir : « 1° de petits trous dans la couche ; 2° d'une inégalité « d'épaisseur de la couche ; 3° d'un restant de dispersion. Cela pourrait encore s'expliquer s'il y avait « polarisation elliptique : cela arriverait si les deux « rayons circulaires étaient absorbés inégalement. » Du Bois, *loc. cit.*, p. 755.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ ([1]).

On sait avec quelle facilité l'électricité s'applique à la manœuvre des signaux et aiguilles de chemins de fer, principalement pour la réalisation des enclanchements automatiques dans les block systems : nous avons ici même décrit quelques-unes de ces dispositions les plus récentes, nous les complétons aujourd'hui par le résumé d'un remarquable travail publié par M. *V. Spicer*, ingénieur de l'Union Switch and Signal C°, sur cet emploi de l'électricité par les compagnies américaines ([2]).

L'on employa tout d'abord aux États-Unis, comme block system. les appareils classiques de Saxby et Farmer entièrement mécaniques. Le problème à résoudre est de ne pouvoir ouvrir l'aiguille et mettre à voie libre les signaux d'une voie donnée qu'après avoir fermé et mis à l'arret les aiguilles et les signaux de toutes les voies concurrentes dont les

([1]) *L'Éclairage Électrique*, 16 mai 1896, p. 291.
([2]) *Engineering News*, 14 mai 1896.

trains pourraient, s'ils avaient la liberté de marcher vers la voie ouverte, venir heurter ceux de cette voie. C'est ce problème que résolvent les systèmes mécaniques mais, d'après M. Spicer, seulement pour des trains à marche lente et avec des aiguilleurs soigneux ; ces derniers peuvent, à la rigueur, faire une fausse manœuvre, principalement dans les services rapides et encombrés, et de nombreux accidents ont démontré, aux États-Unis, la nécessité d'avoir recours à l'électricité pour en empêcher le retour.

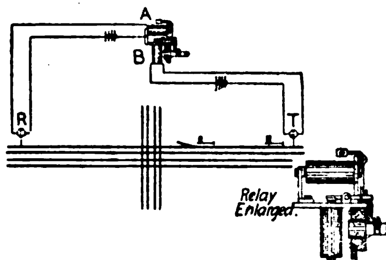


Fig. 1. — Système *Gassett.*

Après d'intéressants essais exécutés par Jackson en 1872, puis par Gassett, essais qui échouèrent parce qu'ils venaient avant leur temps, Gassett, devenu l'ingénieur de l'Union Electric Signal C°, à Boston, proposa en 1878 le système représenté par la figure 1, dans lequel le passage du train sur la pédale T, placée près du signal à distance, coupait le circuit de l'un des électros A du block, dont le second électro B n'était coupé qu'ensuite, par le passage du train sur la seconde pédale R, à sa sortie de la section de block RT qui se trouvait ainsi protégée automatiquement pendant toute la durée du passage du train de T en R, et réciproquement.

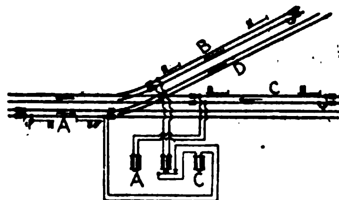


Fig. 2. — Système *Jackson.*

Dans le système de *Jackson* représenté schématiquement par les figures 2 à 4, on ne se contente plus de protéger le train seulement par la mise à voie libre des signaux de la section de passage, mais aussi par l'enclanchement des signaux des voies concourrantes dans leur position normale ou de danger. Pour le cas, par exemple, d'un train passant de A sur D, on enclanchait au danger les signaux de C, et, de même, l'entrée d'un train en C ferme au danger les signaux de A, D et B. Les circuits, commandés par des pédales, agissaient directement par des électro-aimants, sans l'intermédiaire de relais, dont l'emploi est reconnu aujourd'hui comme indispensable. L'expérience paraît, en effet, avoir démontré l'impossibilité pratique de commander des électros à grande résistance et leurs piles directement par les circuits des pédales.

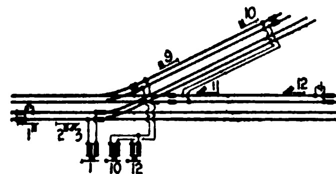


Fig. 3. — Système *Jackson.*

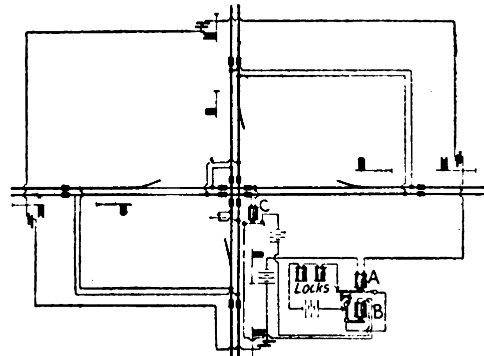


Fig. 4. — Système *Jackson.*

L'enclanchement électrique des leviers manœuvrés à la main, par l'hydraulique ou par l'air comprimé, a été mis en pratique sur divers points de 1882 à 1885, par l'Union Switch and Signal C°. La première de ces applications fut faite en 1882, sur un Saxby du Pennsylvania Ry, sous la forme indiquée par la schéma (fig. 3), par laquelle l'entrée du train

dans la section ouverte en enclanchait les signaux dans la position de voie libre, mais sans permettre de les replacer au danger avant la sortie du train de cette section. On remédia bientôt à ce défaut en permettant aux signaux seuls de revenir au danger avant la sortie du train, dès son passage aux postes, mais en maintenant l'enclanchement des aiguillages jusqu'à sa sortie complète de la section de block. Or, il fallait, pour cela, isoler et circuiter les rails sur toute la longueur de la section, et, pour éviter cette dépense, l'on adopta le système représenté par la figure

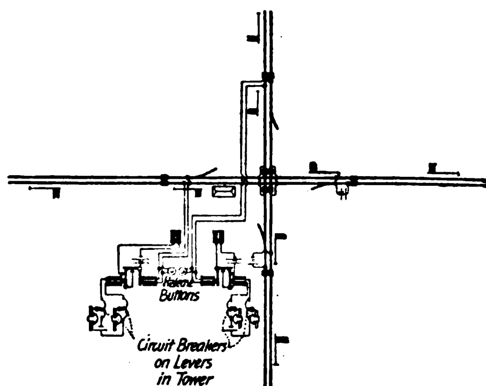


Fig. 5.

4, dans lequel la mise du signal à distance en voie libre ouvre, par le relai A, le circuit des enclanchements (Locks), lequel, grâce à l'interdépendance des relais, ne peut plus être fermé qu'après que le circuit de B a été fermé une fois puis ouvert par le jeu du relai C. Ce relai maintient B ouvert pendant toute la durée du passage du train sur le croisement des deux voies. Aussitôt B ouvert, A laisse son armature fermer en partie sa section de block, dont la fermeture s'achève par C, seulement après le passage du train, et cette fermeture déclanche les leviers de la section.

Avec le dispositif représenté par la figure 5 les interrupteurs du circuit sont manœuvrés, non par les leviers du signal à distance mais par l'aiguilleur dans sa cabine ; or les aiguilleurs sont tenus, quand le temps est mauvais, d'essayer de temps en temps leurs leviers, pour voir si tout est bien en bon ordre de fonctionnement, ce qui occasionne des fausses manœuvres, évitables seulement en partie par l'emploi de boutons (Release Buttons) permettant d'effectuer l'essai des signaux sans bloquer les voies ; puis on dut renoncer à l'emploi de ces boutons, dont on abusait pour paralyser à dessin le fonctionnement des enclanchements toujours assujetissants pour les aiguilleurs. En réalité, l'un des principaux obstacles à la réalisation pratique des enclanchements électriques a été l'incurie parfois systématique du personnel.

Parmi les systèmes auxquels les enclanchements électriques se sont adaptés avec le plus de succès, il faut citer le block électro-pneumatique. Dès qu'un train pénètre dans la petite section isolée A, (fig. 6) le relai A' bloque cette section, qui ne peut être rouverte par B'

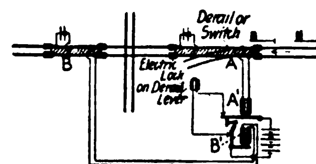


Fig. 6.

qu'après le passage du train sur la section suivante B ; mais la dépense entraînée par l'isolement des sections a fait souvent revenir aux enclanchements purement mécaniques.

Les appareils de block manœuvrés à la main ne peuvent fonctionner avec sécurité que par l'enclanchement des leviers normalement au danger au moyen du circuit électrique de la voie, qui commande aussi les signaux. On obtient ainsi une sécurité presque absolue. Ce système fonctionne sur plusieurs lignes de l'Est depuis longtemps et avec succès.

En novembre 1885, il y avait, aux États-Unis, 3165 leviers d'enclanchement, répartis en 227 postes, sur 35 compagnies, et dont 70 seulement commandés par l'électricité. Depuis, en dehors du système électro-pneumatique, on ne compte guère qu'une douzaine de ces applications, mais on se rend compte aujourd'hui de la nécessité de revenir à l'élec-

tricité et de la possibilité de son emploi pratique par la création d'ingénieurs spécialement affectés à l'établissement et à la surveillance des postes de signaux.

Nous avons souvent signalé les avantages que présente l'*actionnement des machines-outils par l'électricité*, notamment aux cisailles et poinçonneuses. Ces machines sont pourvues de volants très lourds, nécessités par le caractère intermittent de leur travail, et qui provoquent, en raison de leur inertie, à la mise en train ou après un ralentissement notable, un très grand effort de la dynamo laquelle se trouve ainsi, à moins que l'on ne surveille avec le plus grand soin le rhéostat,

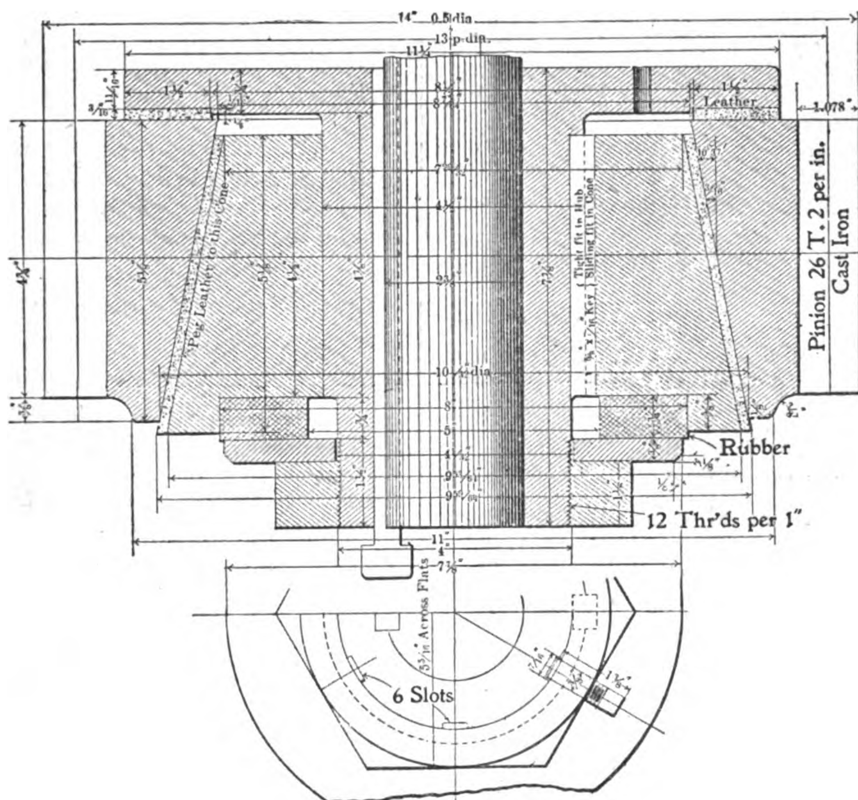


Fig. 7. — Embrayage pour poinçonneuse électrique entraînée par un dynamo faisant 40 chevaux à 700 tours.

traversé par des courants souvent dangereux. C'est pour éviter ces efforts que l'on a fait, aux forges de Pencoyd, actionner le volant par un pignon non pas calé sur son axe, mais serré par un embrayage à friction, qui glisse quand l'effort de la dynamo dépasse une certaine limite, et entraîne graduellement le volant. Ainsi qu'on le voit par la figure 7, qui représente cet embrayage, le pignon commande son arbre par un manchon conique rainuré sur cet arbre, manchon que la couronne du pignon entraîne par le frottement d'un cuir (Peg Leather). Le manchon est enfoncé par la pression élastique d'un écrou à rondelle de caoutchouc (Rubber) dans la couronne que maintient une seconde rondelle à garniture de cuir. En outre, pour s'accommoder aux variations inévitables de la vitesse de ces machines, la dynamo doit être disposée comme pour les raboteuses (¹).

Voici maintenant quelques résultats intéressants obtenus avec différentes machines-outils.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 4 avril 1896, p. 14.

MACHINES COMMANDÉES DIRECTEMENT PAR LES DYNAMOS.

Poinçonneuse à 2 volants de 450 kg chacun commandée directement par une dynamo en dérivation, poinçonnant des trous de 41 mm dans une tôle d'acier de 25 mm.

	Ampères	Volts	Puissance en chevaux électriques
	A	V	P
Dynamo à vide au départ	45	218	13,1
Dynamo et poinçonneuse, frottements...........	5	220	1,5
Pendant le poinçonnage..	150	215	43,2

La dynamo, de 10 chevaux, fut mise hors de service après le poinçonnage de 200 trous.

Petite cisaille coupant à chaud des barres d'acier de 25 mm de côté.

	A	V	P
Dynamo et cisaille en marche.... ...	2	228	0,6
Au cisaillement, avec inducteurs en dérivation..........................	9,5	228	2,9
Au cisaillement, avec inducteurs en compound........................	5,5	228	1,7

La dynamo, d'un cheval, était insuffisante.

Cisaille pour tôle engrenée par une dynamo de 10 chevaux en dérivation.

	A	V	P
Dynamo et cisaille au départ....	50	218	14,6
Frottement.........................	5	221	1,5
Coupant des tôles de 90 × 16 m/m..	20	200	S 9
» de 200 × 16.......	38	220	11,2
» de 350 × 20.......	77	215	22,2

L'intensité du courant, excessive aux ralentissements, abimait souvent l'armature; l'addition de l'embrayage figure 7 évita complétement ces accidents et donna les résultats suivants :

	A	V	P
Dynamo et cisaille au départ.........	40	218	11,7
Frottement	5	222	1,5
Coupant des tôles de 200 × 25 m/m..	35	220	10 2
» de 230 × 5	60	228	17,5
» de 480 × 20.......	70	215	20,2

Grosse cisaille avec embrayage à frottement, dynamo de 15 chevaux en dérivation ou compound, voltage 220 V.

	Ampères avec dynamo En dérivation	En Compound
Dynamo et cisailles au départ.	70	50
» » en marche	9 à 11	9 à 11
Coupant des fers de 165 × 13 m/m.		15,20
» 280 × 19.	60	40
» 100 × 13.	20	
» 180 × 13.	30	
Coupant des rails d'acier de 70 × 70 de base × 47.........	55	45
Coupant des arbres d'acier de 64 m/m..................	73	50

Cisaille double Hill et Jones attaquée directement par la dynamo.

	Ampères dérivation	compound
Dynamo et cisaille au départ......	130	120
» en marche.....	18 à 25	20
Coupant des fers d'angle de 150 × 90 × 137 m/m............... ..	35	30

Cisaille pour cornières, volant de 450 k avec dynamo de 15 chevaux montée sur le contre-arbre à 700 tours par minute.

	A	V	P
Dynamo contre arbre, courroies et poulies folles....................	4,6	225	1,4
Cisaillant une cornière d'acier de 165 × 100 × 13	40	225	12.1

Fraiseuse pour tôle d'acier : diamètre des fraises 150 mm, largeur 460. Avance 50 mm par minute. Dynamo en dérivation de 5 chevaux : insuffisante, chauffait par excès de travail.

	A	V	P
Dynamo et machine à vide.........	4	222	1,2
Coupant 330 × 1 m/m 2...........	30	220	8,8
» 330 × 1 m/m 6...........	40	:20	11,8

Scie à chaud, 1800 tours par minute actionnée de la dynamo, de 100 kilowatts, par un contre-arbre.

	A	V	P
Dynamo contre-arbre et scie à vide	25	220	7,4
Coupant une cornière de 100 × 113..................	100	2:9	29,3
Coupant un plat de 250 × 16	22 S	218	6S,7
» un fer à I de 230 × 13 m/m................	27 S	218	80,4
Coupant un fer à I de 500 × 13, 1e coup c 2 minutes 1/2	100 à 175	230	30,8 à 53,9
2e » 1 »	100 à 275	»	30,8 à 84,8
3e » 55 secondes....	100 à 300	»	30,8 à 92,5

MACHINES COMMANDÉES ÉLECTRIQUEMENT PAR UNE LIGNE D'ARBRES.

Deux poinçonneuses, une chanfreineuse double, commandées par un arbre de transmission de 13,50 m de long, 55 mm de diamètre, à 7 paliers, 750 tours par minute, mu par une dynamo en dérivation de 25 chevaux, poinçonnage à froid,

	A	V	P
Dynamo arbre et poulies folles	10	122	3
Arbre 1 poinçon, trous de 25 m/m × 13 d'épaisseur..........	20	220	5,9
Arbre, 2 poinçons, trous de 25 × 13 d'épaisseur	30	220	8,8
Arbre, 2 poinçons et chanfreineuse	45	220	13,3
Renversement de la chanfreineuse	90 à 110	2,5	26 à 31,7

Huit perceuses multiples, commandées par un arbre de 4,50 m × 45 mm, faisant 850 tours par minute, actionné par une dynamo de 10 chevaux en dérivation, insuffisante, et remplacée ensuite par une dynamo de 25 chevaux. Trous de 20 mm, élargis ou forés à 24 mm.

	A	V	P
Dynamo au pépart......... Dynamo arbre et galets de friction au contact	100 à 150	215	28,8 à 43,2
Arbre et 5 perceuses en travail	70	218	20,4
6 »	85	218	24,8
7 »	95	217	27,6
8 »	100 à 120	215	28,8 à 34,6

Grand tour à cylindres avec 2 outils, commandé par un arbre de 4,50 m × 50 mm, à 3 paliers, 494 tours, avec dynamo en dérivation de 10 chevaux calée sur cet arbre. Cylindres en acier de 850 mm de diamètre, attaqués en plein par deux outils de 120 mm de large.

	A	V	P
Dynamo arbre et tour à vide	8	220	2,3
En pleine marche (moyenne)	37,5	220	11,0
Variations................	20 à 50	220 à 215	5,9 à 14,4

Trois fraiseuses coupeuses, à fraises de 750 mm sur 6 mm d'épaisseur, commandées par un arbre de 10,50 m × 41 mm, à 7 paliers, mené directement à 850 tours par une dynamo de 10 chevaux en dérivation. Sciage d'acier doux : 3 chevaux par scie, coupant deux fers de 300 × 10 mm, et 6 chevaux pour un fer de 180 × 10 mm.

	A	V	P
Dynamo arbres et courroies à vide...	8,6	220	2,S
Avec une scie coupant des fers à I de 300 × 10........................	10,6	220	3,1
2 scies coupant chacune deux fers en U de 180 × 10 et une coupant un fer en I de 177 × 10....................	22,6	220	6,7

Quand le pendule B de l'*horloge électrique* de MM. *Jones* et *Bowell* occupe la position indiquée sur la figure 8, son contact c^4 ferme, par 3, D, 4, c^2, c^4, S, X, le circuit de l'électro-aimant D, lequel, attirant son armature d, maintient par c le levier c^1 c^2, pivoté en b', à contrepoids C, dans la position figurée; puis, quand le pendule s'est suffisamment déplacé de droite à gauche, le taquet d^1 arrête la descente du levier c^2, ce qui rompt le contact c^4.

Le levier c^1, lâché par D tombe alors sur B, et ferme le circuit du second électro D^1, qui rappelle le levier c^2 ... et ainsi de suite indéfiniment. Le mouvement du pendule se trouve donc entretenu par le rappel des contrepoids réglables C et C^1, et le frottement des leviers c^1 c^2 sur leurs contacts platines c^3 c^4 en assure automatiquement l'entretien.

Dans le remontoir électrique représenté par la figure 9, l'échappement A a du pendule B engrène avec un pignon b, relié par un ressort au rochet c, à cliquet de recul b^2 b^3 et dont l'axe b^1 porte un levier C^2, à poids C et contact C^3, commandant c par le cliquet C^5. Dans sa descente, C^3, fermant ce contact, ferme le circuit de l'électro D, lequel, attirant son armature $d d^1$ sur d^1, remonte C^2 d'une quantité limitée par la butée c^6 ; ce mouvement, rompant le contact c^3, permet au ressort d^6 de rappeler d sur sa butée d^2, prêt pour une nouvelle opération. La liaison élastique de c à b maintient une pression constante sur l'échappement, et le remontage ne se fait plus, ici, à chaque oscillation du pendule, mais à chaque descente de C.

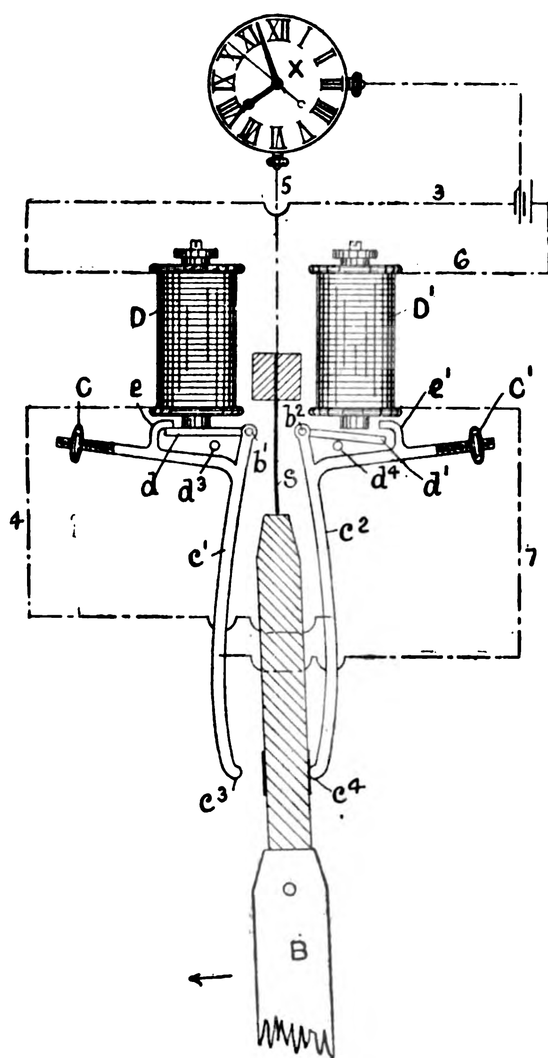


Fig. 8. — Horloge *Jones* et *Bowell* (1895), pendule régulateur.

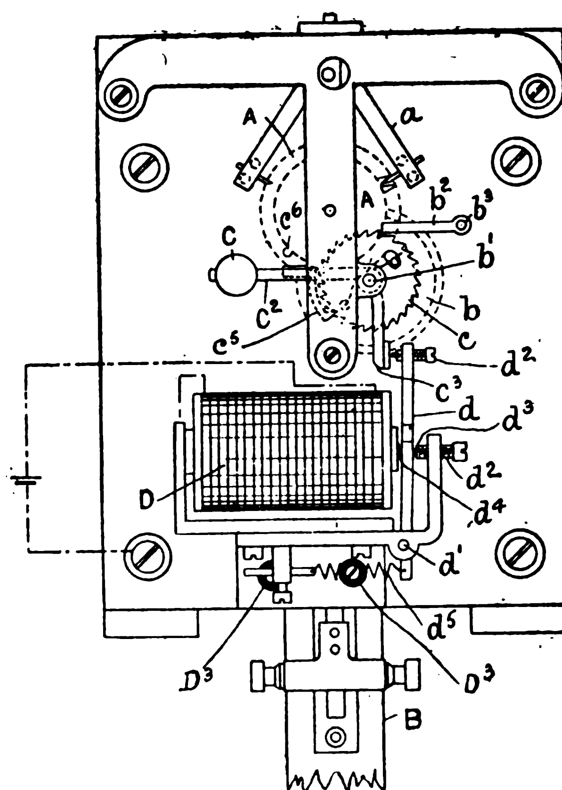


Fig. 9. — Remontoir électrique *Jones* et *Bowell*.

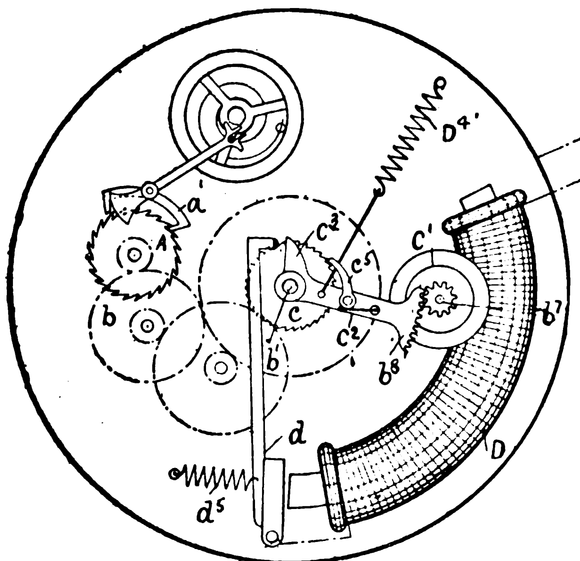


Fig. 11. — Remontoir électrique à ressort *Jones* et *Bowel*

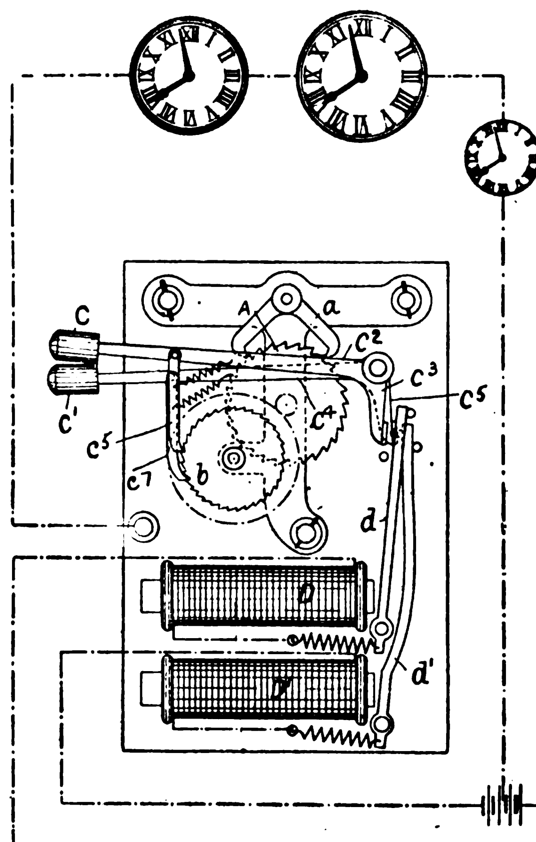


Fig. 10. — Remontoir électrique double *Jones* et *Bowell*.

On peut d'ailleurs, comme l'indique la figure 10, rendre l'action de ce remontoir continue par duplication des organes C D ...,

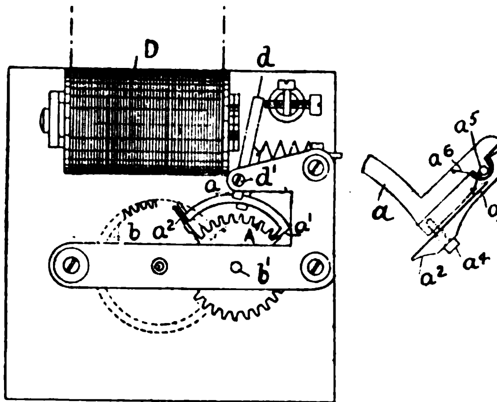


Fig. 12 et 13. Horloge secondaire *Jones* et *Bowell*.

C' D' ... dont l'un agit sur b à la suite immédiate de l'autre. On peut aussi remplacer l'action du contrepoids C par celle d'un res-

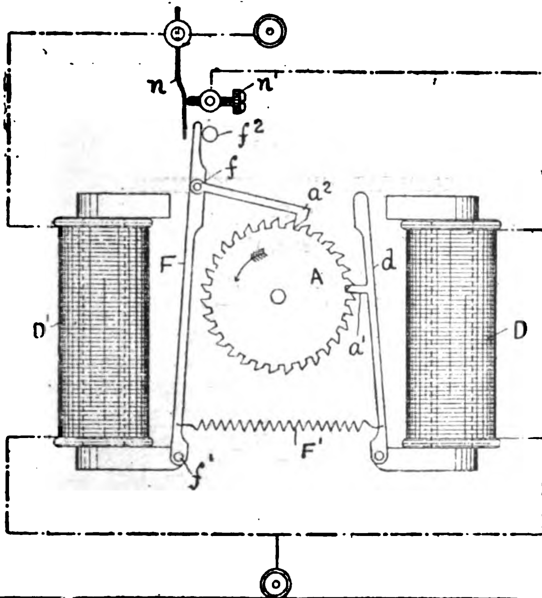


Fig. 14. — Horloge secondaire *Jones et Bowell*.

sort D' (fig. 11) actionnant le rochet c par des mécanismes analogues aux précédents, mais où l'inertie du contrepoids, qui manque au ressort D', est remplacée par celle du petit volant C', pivoté sur b^7 et commandé par le secteur denté b'.

Les horloges secondaires commandées par le régulateur central fonctionnent comme il suit (fig. 12 et 13). Quand l'électro D de ces

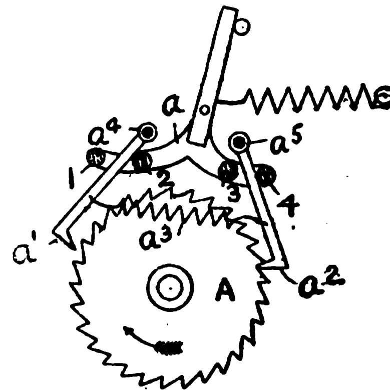


Fig. 15. — Horloge secondaire *Jones* et *Bowell*, à donble cliquet.

horloges reçoit le courant qui lui est envoyé pé-

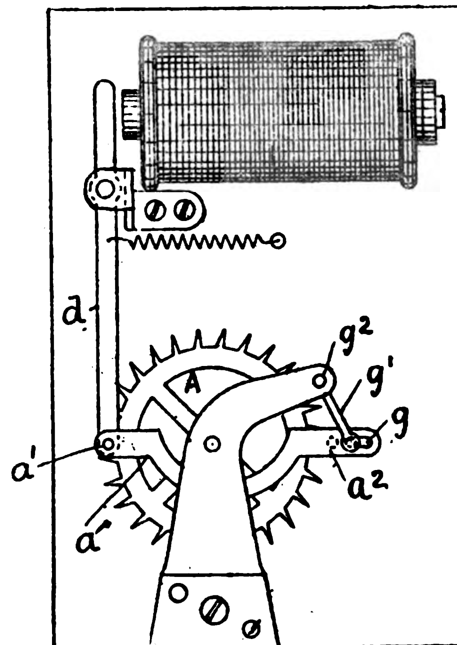


Fig. 16. — Horloge secondaire à coulisse *Jones* et *Bowell*.

riodiquement par le régulateur, il attire son armature d, qui retire de l'échappement A a la dent a' de l'ancre a en même temps qu'il y enfonce la dent a^2 a^3. Cette dent, pivotée en a^5 a^6, est élastique, de sorte qu'elle peut pénétrer dans A en se comprimant avant que a^4 n'ait lâché A. Quand a' lâche complètement

A, a^2, se détendant, fait avancer un peu A, puis le rappel de d par son ressort, quand le cou-

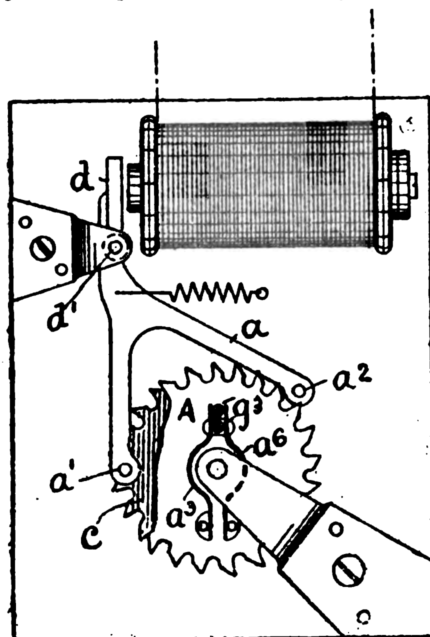


Fig. 17. — Horloge secondaire à double rochet *Jones* et *Bowell*.

rant cesse en D complète par a^1 cet avance-

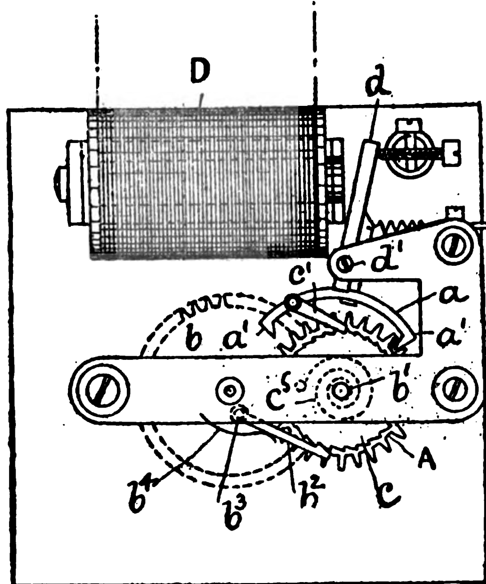


Fig. 18. — Horloge à ancre *Jones* et *Bowell*.

ment qui se trouve ainsi exactement d'une dent.

On peut d'ailleurs remplacer, comme l'indique la figure 14, l'action du ressort a^2 par celle d'un électro-auxiliaire D'. Le courant du régulateur excite à la fois D et D', ce qui active a^1 et fait avancer A par f a^2, puis F

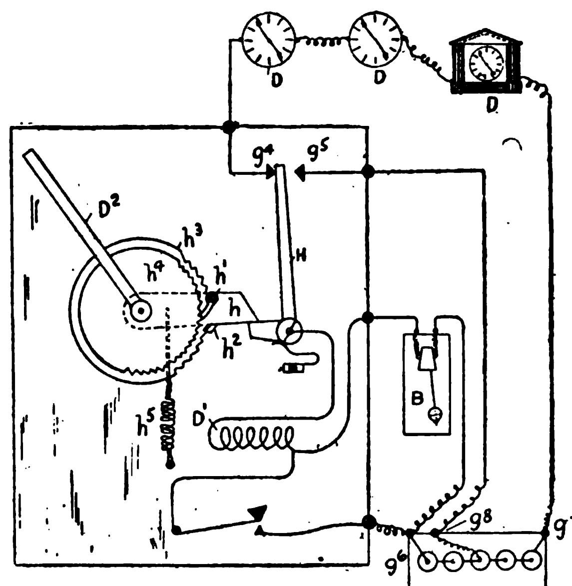


Fig. 19. — Remise à l'heure automatique *Jones* et *Bowell*.

Fig. 20. — Remise à l'heure automotrice *Jones* et *Bowell*.

coupe en $n\ n'$, en repoussant le ressort n, le circuit de D, qui lâchant d, laisse a^1 retomber sur A et l'arrêter avant le rappel de a_1.

Ces mécanismes peuvent d'ailleurs être variés presqu'à l'infini. En figure 15, par exemple, les cliquets a^1 a^2, pivotés en a^4 a^5, sont

rapprochés par le ressort a^2, et l'ancre a est pourvue de taquets 1, 2, 3, 4, qui soulèvent et déclanchent de A l'un des cliquets pendant que l'autre s'y engage de manière à en supprimer les points morts. En figure 16, les palets a^1 a^2 sont fixés sur un levier a pivoté sur l'armature d, avec coulisse g, suspendue à la bielle g^1 g^2. Quand D attire d, a^1 lâche A et

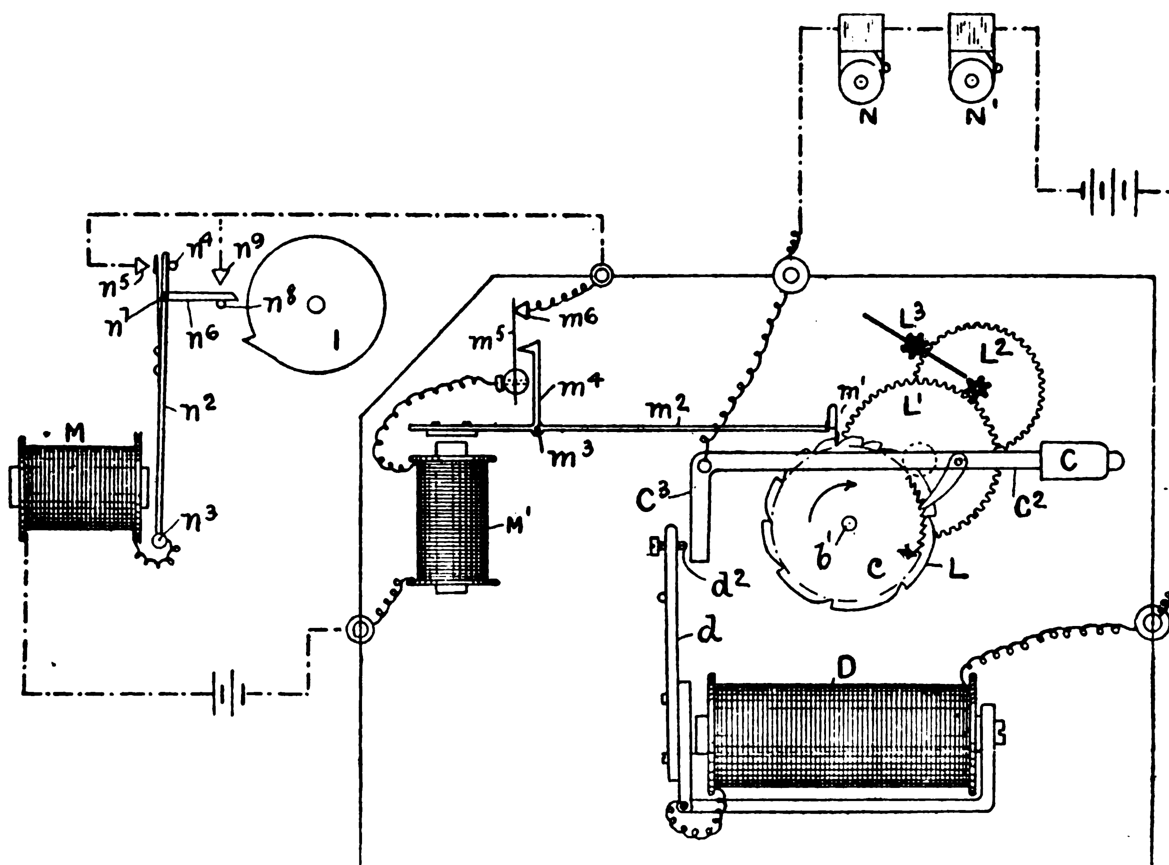


Fig. 21. — Sonnerie *Jones* et *Bowell.*

a^2 l'engage, puis g^1, étant arrivé au fond de g, fait tourner A exactement d'une dent. En figure 17, on emploie deux rochets A et c; le rochet A entraînant c par le piton g^2 et les ressorts a^3 a^6, l'attraction de d fait par a a, tourner A d'une demi dent, puis son rappel fair tourner c d'une demi dent par a a^1. Enfin, en figure 18, l'ancre a a^1 commande à la fois l'échappement A et, par c', le rochet c, à retenue b^2 b^3, relié à A par un ressort c^5 et dont le pignon b' engrène avec la première roue b du mécanisme des aiguilles.

Le fonctionnement de la remise à l'heure automatique est facile à saisir sur la figure 19. Il s'opère au moyen d'un cadran régulateur central dont le bras D^2, est à frottement sur son axe et relié au rochet h^1, représente l'aiguille des minutes et est commandée, par l'électro-aimant D_1 et le pendule régulateur B, à l'aide de l'un quelconque des mécanismes précédemment indiqués. Quand on recule D^2, h^1, soulevé par h^1 H malgré le ressort h^5, coupe en g^1 les horloges secondaires D D D... du circuit g^6 B H g^1 g : un cliquet h^2 du rochet h^2, calé sur l'axe de D^2, en empêche le retour. Le circuit est alors fermé en g^5 B D^1 H g^5 g^8. Quand D^1 a ramené D^2 à son point de départ, h, ramenant H sur g^5, referme le circuit des horloges D D, qui repartent après avoir été ainsi remises à l'heure.

Si l'on veut pouvoir avancer D^2 de plusieurs heures, il suffit de monter le levier h (fig. 20) sur une vis h^9 par un écrou h^8. Quand on tourne D^2 en arrière, h^8, entraîné par $h^4 h^1 h^6 h_7$, monte sur h_9 et h quitte H, le cliquet h_2 empêchant comme précédemment le retour de D^2 par son engagement avec le rochet h^4 du mouvement d'horlogerie, lequel ne per-

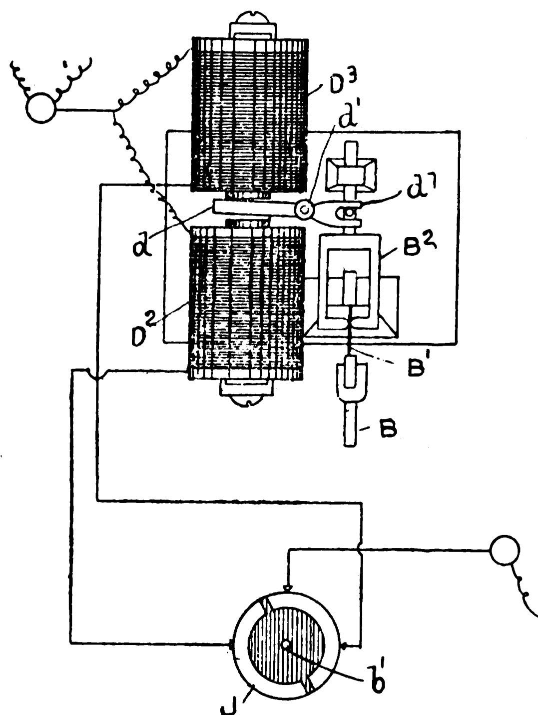


Fig. 22. — Synchroniseur *Jones* et *Bowell*.

met le rétablissement de H par h qu'après que h_3 a fait en avant le nombre même de tours et de fractions de tours que l'on a fait faire à l'aiguille h_4.

La marche du mécanisme de sonnerie se comprendra facilement par l'examen du schéma (fig. 21). Aux heures, la came I ferme, par n^6 n^9 n^5, les circuits des électros M et M_1, ce dernier, attirant m^2 m^1, rompt son circuit en m^6 et lâche la roue de sonnerie L qui, entraînée par le poids C, avec une vitesse réglée par le moulinet L^1, au moyen du rochet c, à 78 dents, somme des heures de I à XII, en fermant en d^2 le circuit des sonneries N et N^1 pendant un temps proportionnel à la longueur de ses dents.

La figure 22 représente schématiquement le dispositif adopté pour synchroniser un pendule régulateur auxiliaire B_3 avec le pendule central B^1 de la distribution. Le pendule B_3 actionne à cet effet un commutateur J, qui tant qu'il est d'accord, ne ferme jamais le circuit du pendule central B^1 sur les électros synchroniseurs D_2 ou D_3, mais; dès que B_3 retarde ou avance, J ferme à chaque tour le circuit de B sur D^2 ou D^1, dont l'armature d d' raccourcit ou allonge temporairement, par B_2, la longueur de B^1.

G. Richard.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE

Ainsi que nous l'annoncions dans de précédentes chroniques, le 2e Congrès international de chimie a été ouvert lundi dernier, 27 juillet, par une séance plénière présidée par M. Berthelot et tenue dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne. Dès le lendemain, les diverses sections du Congrès se réunissaient, les unes dans les salles de l'Hôtel de la Société d'Encouragement, les autres dans celles de l'Hôtel des Sociétés savantes, la section de métallurgie à l'Ecole des Mines et celle de photographie dans les locaux de la Société française de photographie.

Bien que les applications de l'électricité à la chimie soient nombreuses et s'étendent à un grand nombre d'industries chimiques, il a été néanmoins possible, par la création d'une section consacrée à l'électrochimie (section X), de grouper ensemble la plupart des communications intéressant les électriciens ; néanmoins quelques-unes de ces dernières communications ont dû, par suite de leur caractère tout spécial, être faites devant d'autres sections.

La première réunion de la section X, fixée au mardi 28 juillet à 9 heures du matin, débute par la constitution du Bureau qui se trouve composé de M. Moissan, président, MM. d'Arsonval, Monnier, Gall, Charpy, vice-présidents, MM. Gosselin et Minet, secrétaires.

Dans une communication intitulée

Considérations générales sur les dernières applications de l'électrochimie,

M. *Minet* expose aussi brièvement que possible l'état actuel des applications de l'électricité aux industries chimiques.

Commençant par rappeler les applications déjà anciennes du courant électrique pour l'obtention des dépôts métalliques, l'auteur insiste sur l'électro-déposition de l'aluminium.

Passant à l'affinage des métaux par l'électricité, il s'étend sur l'affinage du cuivre et fait remarquer que le champ d'application de cette nouvelle industrie est pour ainsi dire illimité, la consommation journalière du cuivre en Europe étant de 500 tonnes, tandis que toutes les affineries électriques européennes réunies ne produisent pas plus de 20 tonnes de cuivre électrolytique par jour, soit 4 pour 100 seulement de la consommation.

Continuant la révision des applications de l'électricité aux revêtements métalliques, M. Minet dit quelques mots du zingage et de l'étamage électriques qui permettent d'obtenir un dépôt plus régulier et, par suite, plus durable que celui que donnent les procédés par immersion. Le zingage s'effectue ordinairement avec une solution de sulfate de zinc de densité 1,2 et une densité de courant de 0,2 à 0,3 ampère par décimètre carré ; on a reconnu récemment que la présence d'une petite quantité de sulfure de zinc, obtenu au moyen de l'action d'un courant d'hydrogène sulfuré et maintenu en suspension dans le bain, donne plus de compacité au dépôt ; on a également reconnu la nécessité de prendre une anode en zinc pur. Quant à l'étamage, il s'effectuait il y a quelques années en liqueur acide ; aujourd'hui on préfère un bain alcalin contenant 12 pour 100 de sel marin et quelques centièmes de soude caustique.

L'auteur ne fait que citer les applications de l'électricité à l'affinage de l'argent, au traitement des mattes et minerais, à celui des jus sucrés, à la fabrication du vermillon, etc. ; il s'arrête un moment sur la fabrication de la céruse par le procédé Brown, que nous avons décrit longuement (1) et dont il est beaucoup parlé actuellement dans la presse américaine, et aborde l'électrolyse du chlorure de sodium.

Ainsi qu'on le sait, cette électrolyse peut s'effectuer dans trois buts différents : 1° obtention d'une lessive de soude et de gaz chlore ; 2° préparation d'une liqueur de blanchiment ; 3° production du chlorate de potassium. A l'heure actuelle, c'est surtout vers la préparation de la soude et du chlore que tendent les efforts des électrochimistes et dans ce but un nombre considérable de procédés ont été imaginés. A ce propos, M. Minet rappelle les difficultés que l'on rencontre soit à cause des anodes, soit à cause des diaphragmes. Le platine, l'argent platiné, le ferro-silicium, le phosphure de fer, le charbon de cornue, ont été successivement employés pour confectionner les anodes ; mais ces substances sont, ou trop chères ou trop facilement attaquables, et jusqu'ici le corps qui semble convenir le mieux est le charbon graphitoïde de MM. Girard et Street (2) qui se désagrège 10 fois plus lentement que le charbon ordinaire. Quant aux diaphragmes, après les avoir confectionnés avec du parchemin, puis, ce qui est bien préférable, en amiante, les inventeurs les ont supprimés dans les procédés Castner, Despeissis, Kellner, etc.

Passant à l'électrométallurgie par voie séche, l'auteur en divise l'étude en deux parties : 1° les réactions électrothermiques dans lesquelles l'électricité agit surtout comme

(1) *L'Eclairage Electrique*, t. V p. 23, 5 octobre 1895.

(2) *L'Eclairage Electrique*, t. IV p. 454, 7 septembre 1895.

agent calorifique ; 2° les réactions électrolytiques par fusion ignée, auxquelles se rattachent la préparation du magnésium, du sodium et du lithium ; 3° la fabrication de l'aluminium où les deux ordres de réactions entrent en jeu.

Laissant de côté les réactions du premier groupe qui se trouveront indiquées dans la communication de M. Moissan, ainsi les préparations du magnésium, du sodium et du lithium dont l'importance industrielle est encore bien petite, M. Minet insiste particulièrement sur la fabrication de l'aluminium, où il s'est acquis une grande compétence, comme le savent les lecteurs de la *Lumière Électrique*.

En prenant un bain composé de 70 parties de chlorure de sodium et 30 parties de fluorure double d'aluminium et de sodium, bain qui fond à 675°, possède une densité de 1,76 à 829° et commence à émettre des vapeurs à 1056°, l'auteur a constaté qu'avec un courant de 4000 ampères une force électromotrice de 7,5 volts est nécessaire pour effectuer la décomposition et qu'on produisait 1 kg d'aluminium par heure. Il résulte de ces chiffres qu'il faut environ 40 chevaux par kilogramme d'aluminium produit, sur lesquels 16 chevaux sont utilisés pour produire la réaction chimique et 24 sont absorbés par la résistance du bain et servent à maintenir ce bain en fusion.

Théoriquement 1 000 ampères-heures devraient donner 340 gr d'aluminium ; pratiquement d'après les résultats précédents, on ne trouve, dans les conditions des expériences, que 250 gr de métal, soit un rendement de 75 pour 100 environ. Cette diminution de la quantité de métal produit s'explique, suivant M. Minet, par les réactions chimiques secondaires qui s'effectuent dans le bain et l'auteur a trouvé que ces réactions absorbaient 1 000 ampères sur 4 000, ce qui correspond bien à un rendement de $\frac{4\,000 - 100}{4\,000} = 0,75$.

M. Minet a également cherché quelle est la différence de potentiel qui se manifeste entre deux électrodes plongées dans le bain ; il a trouvé que deux électrodes de cuivre, de platine ou de carbone ne présentent qu'une différence de potentiel inférieure à 1/1000e de volt ; cette différence de potentiel devient manifeste lorsque l'une des électrodes est en charbon neuf et l'autre en charbon déjà attaqué par de précédentes opérations ; elle est encore plus sensible lorsque l'une des électrodes est en fer et l'autre en charbon ; enfin elle atteint plusieurs volts entre une électrode de charbon et une électrode formée d'aluminim fondu.

Ayant cherché d'autre part, dans le cas où l'on relie les électrodes à une source d'électricité, quelle relation existe entre la différence de potentiel E entre ces électrodes de l'intensité I du courant, M. Minet a observé que la forme de cette relation dépendait de I et, par suite, puisqu'il opérait toujours avec un même appareil, de la densité du courant. Quand la densité du courant est très faible, moins de 0,01 ampère par cm^2, la relation est

$$E = kI,$$

k étant une constante qui dans les expériences, avait pour valeur 3,1. Quand la densité de courant était d'environ 0,02 ampère par cm^2, la relation devenait

$$E = e + \rho I,$$

e étant de la nature d'une force électromotrice et ρ de celle d'une résistance. E et I étant mesurés expérimentalement, e et ρ pouvaient être calculés au moyen des mesures de deux expériences, et en faisant varier I, de 1 000 à 4 000 ampères, l'auteur a trouvé pour ρ et e des valeurs sensiblement constantes. La valeur de ρ était d'environ 0,00125 ohm ; quant à celle de e, elle variait avec la température du bain : 3 volts à 800°, 2,4 volts à 900°, 2,3 volts à 1 000° et 2 volts à 1 100°.

Dans ces expériences la masse du bain était de 80 kg, et l'on alimentait le bain par un mélange d'alumine et de fluorure d'aluminium obtenu en faisant réagir de l'acide fluorhydrique sur de l'alumine; de temps en

temps on complétait cette alimentation par l'addition de petites quantités de chlorure de sodium. de manière à maintenir la composition du bain constante. D'après l'auteur le fluorure d'aluminium contenu dans le bain fondu se décompose de préférence au chlorure et au fluorure de sodium. L'aluminium se porte à la cathode, le long des parois de laquelle il se dépose à l'état fondu, la température de fusion de l'aluminium n'étant que de 625° ; en même temps une quantité équivalente de fluor se dégage à l'anode.

M. Minet termine cette communication par quelques considérations sur l'utilisation des forces naturelles. Il fait observer que la quantité d'énergie nécessaire pour déposer électrolytiquement 1 kg de métal est souvent considérable; tandis qu'il ne faut que 0,7 de cheval-heure environ pour l'or et le platine, 0,9 pour le mercure et l'étain, il faut 3,5 chevaux-heures pour le cuivre, 43 pour le lithium par voie sèche, 40, ainsi que nous l'avons dit, pour l'aluminium. On conçoit donc que l'avenir de l'électrométallurgie dépende beaucoup du prix de revient de l'énergie. Or, il résulte des appréciations de l'auteur que l'affinage du plomb revient à 0,10 fr par kg environ et celui du cuivre à 0,40 fr environ lorsque l'énergie est empruntée aux machines à vapeur et que ces chiffres sont respectivement réduits à 0,01 et 0,04 fr lorsqu'on prend l'énergie à des chutes d'eau. Il insiste donc, avec juste raison, sur la nécessité d'utiliser les chutes d'eau qui, rien que dans les Alpes, pourraient donner, d'après des estimations récentes, une puissance de plus de 500 000 chevaux, sans frais d'établissement trop élevés.

M. Minet envisage le cas d'une usine électrolytique où l'énergie utile dans les bains est de 1 000 chevaux donnés par trois dynamos. En admettant pour ces dynamos un rendement de 0,85, ce qui est un minimum, il faudra pour les actionner, 3 turbines d'une puissance motrice effective de 400 chevaux, soit en totalité 1 200 chevaux. Le rendement des turbines ne dépassant guère 0,75 la puissance hydraulique nécessaire pour les actionner devra être de 1 600 chevaux. Si l'on prend comme modèle une chute d'eau de 100 mètres de hauteur, alimentée par un canal de dérivation de 1 km, on trouve, en se basant sur les installations semblables existant déjà, que les dépenses de première installation comprennent :

Achat de la chute, des terrains, prix de la concession, riveraineté, etc........	100 000 fr
Construction du canal..................	200 000
Deux conduites.........................	50 000
Trois turbines, 1 200 chevaux...	50 000
Trois dynamos, 1 000 chevaux...	125 000
Construction, imprévu	75 000
	600 000 fr

Si l'on admet un amortissement en 20 ans, une dépense de 3 pour 100 pour l'entretien du matériel, on arrive à une dépense annuelle de 48 000 fr.

A cette somme s'ajoute celle de la rétribution du personnel nécessaire pour surveiller l'usine, en marche jour et nuit, et qui peut être évaluée ainsi :

2 gardiens du canal, 1 000 fr.	2 000 fr
2 chefs mécaniciens, à 1 800 fr.	3 600
6 monteurs électriciens, à 1 500 fr........	9 000
1 ingénieur-directeur.	6 000
	20 600 fr

Comptant 11 400 fr pour dépense imprévue, on arrive à un total de 80 000 fr. Pour une marche effective de 330 jours dans l'année, à 22 heures par jour, la dépense est de 242 fr par jour, 11 fr par heure, soit 0,011 fr par cheval heure effectif dans les bains.

Cette communication est suivie d'une discussion à laquelle prennent part MM. Korda, Hillairet, Moissan, etc., et qui porte sur les deux points suivants :

1° Prix de revient de l'énergie empruntée aux chutes d'eau;

2° Quelles sont les réactions qui se passent dans les bains employés dans la fabrication de l'aluminium ?

Le prix de revient de l'énergie empruntée aux chutes d'eau dépend évidemment d'un

grand nombre de facteurs qui ont une influence plus ou moins prépondérante suivant le cas et qui peuvent, comme le disait un ingénieur américain présent à la discussion, faire quelquefois préférer les moteurs à gaz et à pétrole aux chutes d'eau. Mais en général on doit, d'après M. Hillairet, baser ses calculs en admettant qu'il est possible de consacrer à l'établissement d'une usine hydraulique une somme égale à celle que nécessiterait l'établissement dans une usine à vapeur de même puissance; on trouverait encore comme économie la somme relative à l'achat du charbon nécessaire pour le fonctionnement de l'usine à vapeur.

A propos des réactions qui se produisent dans les fours de fabrication de l'aluminium, M. Minet pense que la réaction principale est la décomposition électrolytique du fluorure d'aluminiun et il en trouve la preuve dans ce fait que l'opération s'arrête si, au lieu d'alimenter le bain avec ce sel, on l'alimente au moyen d'alumine. Suivant un ingénieur de l'usine de Froges, il y aurait bien décomposition électrolytique du fluorure d'aluminium, mais l'acide fluorhydrique résultant de cette décomposition reste dans le bain et réagit sur de l'alumine ajouté à ce bain pour redonner du fluorure décomposé par le courant, de sorte qu'en définitive tout se passe comme si c'était l'alumine elle-même qui fût décomposé par le courant. A l'appui de cette manière de voir il cite les résultats d'essais faits à l'usine de Froges où la quantité d'acide fluorhydrique ajoutée au bain sous forme de cryolite est bien moins grande que celle que M. Minet ajoutait sous forme de fluorure d'aluminium dans ses essais faits à l'usine de St-Michel, cette quantité étant rapportée au kilogramme d'aluminium produit dans les deux séries d'essais. Il ajoute n'avoir observé aucun dépolissage d'une lame de verre placée dans le voisinage de l'anode des fours fonctionnant à Froges et, au contraire, avoir remarqué que dans l'usine de St-Michel tous les carreaux étaient dépolis; il croit pouvoir en conclure que dans le premier cas il n'y a pas d'acide fluorhydrique perdu à l'anode, tandis qu'il y en a dans la manière d'opérer de M. Minet, ce qui apporterait une nouvelle preuve de l'exactitude de sa théorie de la formation continue de fluorure d'aluminium.

Au sujet de cette dernière observation, M. Moissan fait remarquer que les gaz qui se dégagent à l'anode ne doivent pas contenir d'acide fluorhydrique, mais du fluorure de carbone, gaz inodore, indécomposable par l'eau et n'attaquant pas le verre; il ne pense donc pas que cette observation puisse contribuer à éclaircir la théorie d'autant plus que le dépolissage des carreaux de l'usine de St-Michel peut être attribuée aux vapeurs d'acide fluorhydrique que l'on prépare en grande quantité dans cette usine pour la préparation du fluorure d'aluminium.

M. Moissan résume cette longue discussion en engageant ceux que la question intéresse à faire des analyses et des mesures volumétriques des gaz qui se dégagent des fours de fabrication de l'aluminium. Puisqu'on connaît les matières qu'on y met, qu'il est facile de savoir celles qui en sortent à l'état liquide ou solide, la détermination des matières qui s'échappent à l'état gazeux donnera tous les éléments nécessaires pour se rendre compte des réactions qui se passent dans le four. Il ne se dissimule pas d'ailleurs la difficulté de pareilles mesures aux hautes températures atteintes dans les fours à aluminium.

Dans la seconde communication

Sur quelques appareils de chauffage par l'électricité,

M. *Charpy* décrit un appareil qui lui a rendu de grands services dans ses expériences sur la trempe des aciers.

Le résultat à atteindre était de porter à une température uniforme, variant de 200 à 1300°C, un barreau métallique de 20 cm de longueur et de 2 cm de diamètre.

L'appareil employé dans ce but se compose d'un tube en terre réfractaire, de 60 cm de longueur, du modèle de ceux qu'on emploie

en chimie. Sur sa surface extérieure sont enroulés deux fils de platine de 0,5 mm de diamètre dont les spires sont distantes de 2 mm et qui peuvent être reliés en parallèle à une source d'énergie électrique. Le tube de terre et ces fils sont entourés d'un manchon d'amiante et d'un cylindre métallique de 10 cm environ de diamètre, et l'espace compris entre ce dernier tube et le manchon est rempli d'une substance calorifuge. Le tube de terre est prolongé par des garnitures métalliques entourées d'un serpentin où circule de l'eau froide de manière à éviter un échauffement exagéré des extrémités de l'appareil ; celles-ci reposent par deux tourillons sur deux traverses métalliques fixées au tube enveloppe et une poulie actionnée par un petit moteur électrique permet de faire tourner le tube de terre autour de son axe. Les fils de platine aboutissent à deux bagues métalliques sur lesquelles frottent deux balais amenant le courant ; un rhéostat intercalé sur le circuit de la source permet de faire varier l'intensité du courant circulant dans les fils de platine et, par conséquent, la température. Enfin le tube enveloppe qui, dans sa position ordinaire est horizontal, peut tourner autour d'un axe transversal horizontal de manière à pouvoir être rapidement amené dans une position verticale et permettre ainsi de faire tomber le barreau métallique dans un récipient contenant un liquide froid pour en opérer la trempe.

Des mesures de température faites avec un pyromètre de M. Lechatelier ont montré que dans la partie moyenne du tube de terre, la température était uniforme à 2 degrés près sur la longueur de 20 cm occupée par le barreau et pouvait être maintenue constante pendant plusieurs heures. D'ailleurs, dans la plupart des cas, on peut se dispenser du pyromètre pour l'évaluation de la température et se servir de la variation de résistance qu'éprouve le fil de platine sous l'influence de la température. Dans ce but, on met en dérivation entre deux spires un voltmètre et l'on place sur le circuit d'un des fils de platine un ampèremètre ; le quotient des indications du premier instrument par celles du second donne la résistance de la longueur du fil de platine comprise entre les deux points d'attache du voltmètre ; la variation de cette résistance avec la température étant déterminée une fois pour toutes, on déduit de ces données la valeur de la température avec une approximation d'une vingtaine de degrés, approximation le plus souvent suffisante.

La rotation imprimée au tube de terre a pour but d'augmenter l'uniformité de la température du barreau métallique, car la partie inférieure de ce barreau en contact direct avec le tube se trouverait nécessairement portée à une température supérieure à celle de la partie supérieure, si l'on n'avait pas soin de changer, d'une façon continue, les surfaces en contact. La nécessité de cette précaution est mise en évidence par ce fait que les barreaux restent parfaitement droits après la trempe lorsque le tube est mis en rotation pendant leur chauffe, tandis qu'ils sont toujours déformés lorsque le tube est maintenu dans la même position.

Pour maintenir, avec cet appareil, une température de 850 à 900° C, il faut un courant de 70 volts et d'un peu moins de 8 ampères, soit 500 watts. Pour maintenir la même température avec un four à gaz à 3 brûleurs de 600 litres à l'heure, il faut environ 500 litres à l'heure. Si donc le watt coûte le même prix que le litre de gaz, la dépense de chauffage avec l'appareil électrique est sensiblement la même qu'avec le four à gaz. D'autre part, si l'on tient compte que pour produire un cheval électrique, soit 730 watts environ, avec une dynamo actionnée par un moteur à gaz, il faut environ 700 litres de gaz, on arrive à ce résultat que les 500 watts exigés par le chauffage électrique exigeraient une dépense de moins de 500 litres de gaz et que, par suite, il y aurait avantage, au point de vue économique, à convertir l'énergie potentielle du gaz d'éclairage en énergie électrique plutôt que de l'utiliser directement par combustion.

Mais sans insister sur cet avantage écono-

mique qui n'est que secondaire dans le cas considéré, il y a lieu de faire ressortir les facilités de maniement que présente l'appareil décrit, dont l'enveloppe extérieure reste à une température encore inférieure à 150° après une chauffe de 6 heures de la partie centrale à 1 200 et 1 300°.

M. *Moissan* expose ensuite les résultats de ses belles expériences.

Sur le four électrique.

Ces expériences sont trop présentes à l'esprit de nos lecteurs pour qu'il soit nécessaire d'y insister. D'ailleurs une communication de ce genre, qui est la synthèse de travaux de plusieurs années, devrait être reproduite in-extenso. Ne pouvant le faire, nous nous bornerons à en indiquer les principaux passages en renvoyant le lecteur aux nombreux articles qui ont été publiés dans ce journal et dans *La Lumière Électrique* sur les recherches de l'auteur.

Pour montrer l'influence de la température sur la nature des réactions qui s'accomplissent entre deux corps en présence, M. Moissan prend comme exemple un mélange d'acide titanique pur et de charbon. Si l'on opère à la température produite par un courant d'une intensité de quelques centaines d'ampères, la réduction de l'acide titanique n'est que partielle, on trouve du protoxyde de titane. Augmente-t-on l'énergie électrique dépensée dans le four, la réduction s'achève, mais l'azote de l'air se combine au titane et donne de l'azoture de titane. Avec une dépense d'énergie encore plus grande le carbone réagit sur le titane et l'on a du carbure de titane.

Le but de l'auteur était donc d'obtenir facilement une température très élevée afin d'étudier les réactions chimiques. L'emploi de l'arc électrique, déjà utilisé par Despretz s'imposait ; celui de la chaux, déjà employée par Deville dans ses expériences avec le chalumeau oxyhydrique, était également tout indiqué. Mais la chaux présente, outre son infusibilité, la propriété d'être extrêmement mauvaise conductrice de la chaleur, à tel point que l'on peut renverser à plat sur la main le couvercle d'un four électrique de quelques centimètres d'épaisseur dont la cavité contient de la chaux en fusion. C'est à cette propriété, qui permet à la chaleur développée par l'arc de rester emmagasinée dans le four, que M. Moissan attribue, avec trop de modestie, la plus grande part du succès de ses recherches, et c'est faute, dit-il, de ne pas l'avoir observée que Siemens, à qui l'on doit les premières recherches sérieuses sur le four électrique et qui prenait un four en magnésie, n'a pu poursuivre ses travaux si bien commencés.

D'un autre côté il était indispensable, pour le genre de recherches que se proposait M. Moissan, de ne pas introduire d'impuretés dans les matières étudiées. De là l'emploi d'un four à électrodes horizontales, disposition évidemment mauvaise au point de vue de la bonne utilisation de la chaleur, mais permettant de mettre les matières à l'abri des impuretés qui s'échappent à l'état de vapeur des électrodes et retombent sous forme solide ; de là également la nécessité de prendre des charbons aussi purs que possible pour la confection des électrodes et des creusets.

Les considérations qui l'ont guidé dans la confection du four électrique étant ainsi exposées, M. Moissan indique les diverses modifications de détail qu'il a été amené à lui faire subir. La seule que nous retiendrons est l'augmentation de ses dimensions, parce que cette augmentation entraînait la nécessité de renoncer à la chaux, à laquelle l'auteur accorde une si grande importance. Prenant encore exemple sur Deville et Debray, il lui substitua la pierre de Courson qui est presque aussi mauvaise conductrice de la chaleur.

Parlant alors de la température qu'il est possible d'atteindre dans le four électrique, M. Moissan rappelle que, d'après les recherches de M. Violle, cette température serait celle de l'ébullition du carbone, qu'il évalue à 3 500°. Mais suivant M. Moissan, il semble bien que la température obtenue

dépende de la quantité d'énergie dépensée dans le four et que, si elle reste sensiblement constante tant que cette énergie reste au-dessus d'une certaine valeur, elle s'élève quand elle atteint plusieurs chevaux. La façon dont se comporte le mélange d'acide titanique et de charbon semble en effet indiquer qu'il y a au moins trois étapes dans l'élévation de température produite.

Dans l'exposé des résultats qu'il a obtenus, M. Moissan rappelle ses recherches sur la formation du diamant, sur la fusion et la cristallisation des oxydes réputés infusibles, mais il insiste plus particulièrement sur la réduction des oxydes en présence du carbone et l'affinage des fontes métalliques qui en résultent. Il passe ensuite aux carbures métalliques, rappelle les réactions qu'ils donnent en présence de l'eau et montre que la formation des pétroles peut être, au moins dans certains cas, par exemple pour les dépôts que l'on trouve dans les terrains granitiques, attribuée à l'action de l'eau sur le carbure d'aluminium. Il rappelle enfin les combinaisons des métalloïdes, silicium, bore, carbone que permet d'obtenir le four électrique (¹).

A la suite de cette communication si intéressante, M. Moissan donne lecture d'une Note de M. Tommasi sur un

Procédé de désargentation électrolytique des plombs argentifères

dont nous avons indiqué le principe dans un précédent numéro (¹).

Il montre ensuite, au moyen d'un four électrique alimenté par un courant de 150 ampères et de 70 volts, la préparation du chrome, puis la volatilisation de la silice qui va se déposer sous forme de granules sur les parois d'une cloche de verre.

Une communication « Application de l'électro chimie à la fabrication des produits chimiques », par M. Joly, était annoncée pour la séance de l'après-midi du mardi 28 juillet de la section des Produits Chimiques ; malheureusement une indisposition de l'auteur nous a privé de cette communication. Toutefois la question de l'électrolyse du chlorure de sodium par les électrolyseurs à cathode de mercure employés dans l'usine Solvay a été abordée incidemment ; nous reviendrons plus tard sur les renseignements qui ont été donnés à ce sujet.

Nous sommes également obligé de remettre à huitaine, l'analyse d'une communication sur l' « Epuration des jus sucrés », fait mercredi par M. Battut à la section de la sucrerie, qui a été l'objet d'une discussion très intéressante ; de même pour trois communications relatives aux rayons X faites le même jour à la section de Photographie, par M. Nodon et par M. Zenger. J. BLONDIN.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Le chemin de fer souterrain de Buda-Pesth.

Nous décrirons prochainement ce Métropolitain nouveau en détail ; en voici, en attendant, les grandes lignes.

(¹) Voir : Sur les produits du four électrique, par H. MOISSAN, dans *L'Éclairage Électrique*, du 11 juillet 1896, t. VIII, p. 79.

Voir en outre, dans *L'Éclairage Électrique* :

MOISSAN, Vaporisation du carbone, t. I, p. 465 ; Les applications métallurgiques du four électrique, t. III, p. 145 ; Préparation et propriétés du molybdène pur fondu, t. III, p. 600 ; MOISSAN et CHARPY, L'acier au bore, p. 144 ; MOISSAN, Fabrication électrique du titane et du carbure de titane, t. V, p. 262 ; Analyse de l'aluminium et de ses alliages, t. V, p 567 ; Sur la présence du sodium dans l'aluminium préparé par l'électrolyse, t. V, p. 522 ; Etude du carbure d'uranium, t. VI, p. 379 ; MOISSAN et MOUREUX. Action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt réduits par l'hydrogène, t. VII, p. 560 ; MOISSAN, Etude de la fonte et du carbure de vanadium, t. VIII, p. 35 ; Sur une nouvelle méthode de préparation des alliages d'aluminium, t. VIII, p. 36 ; Recherches sur le tungstène, t. VIII, p. 182 ; Sur la solubilité du carbone dans le rhodium, l'irridium et le palladium, t. VIII, p. 182.

(¹) *L'Eclairage Electrique*, t. VIII, p. 80 ; 11 juillet 1896.

Il est construit en souterrain dans les rues de Buda-Pesth dans le but de relier le système des tramways qui entourent la ville avec le centre de celle-ci, la municipalité n'ayant pas autorisé la pose des rails dans les rues des quartiers d'habitation que ce chemin de fer dessert.

Le réseau est à double voie sur toute sa longueur et est recouvert, à l'intérieur, ainsi que les stations, avec des briques émaillées ; il a coûté plus d'un million de florins (2 500 000 fr) par kilomètre.

La hauteur du tunnel depuis le haut des rails jusqu'à l'intrados n'est que de 2,85 m ; cette faible hauteur a dû être adoptée, parce qu'une plus grande hauteur aurait forcé à établir la plate-forme en dessous du niveau du Danube, ce qui aurait beaucoup augmenté les frais de construction pourtant déjà assez élevés.

Les stations ne sont qu'à 400 m les unes des autres ; cependant, la vitesse atteint 40 km:h.

La traction est purement électrique.

La distribution se fait par conducteurs aériens fixés à la voûte du tunnel par des crampons en fonte de fer.

Chaque voiture contient 29 sièges et peut recevoir 15 personnes debout ; son poids total, à vide, est de 12 tonnes ; elle est montée sur deux boggies. Chacun de ceux-ci est muni d'un moteur de 50 chevaux qui servent de freins en les mettant en court circuit pour les faire travailler en génératrices ; on emploie aussi des freins électriques spéciaux analogues aux freins Sperry.

Un des points particuliers du système réside dans le mode de régulation des moteurs. Les voitures devant circuler sur des voies réservées n'ont à s'arrêter qu'en des points fixes, dans des conditions déterminées ; on en a profité pour rendre le réglage de la vitesse automatique, ce qui permet de simplifier au maximum le travail du mécanicien qui n'a plus qu'à ouvrir ou à fermer le circuit ; on n'a pas, ainsi, à compter sur l'intelligence ou l'attention de ces employés.

Un solénoïde est connecté aux bornes des moteurs de la voiture ; lorsque la vitesse augmente, la force contre-électromotrice des moteurs s'accroît et, avec elle, l'aimantation du solénoïde, dont le noyau commande le système de régulation. Une fois l'appareil réglé, non seulement la vitesse maxima, mais encore la distance nécessaire pour atteindre cette vitesse sont déterminées et le mécanicien ne peut les modifier.

L'ensemble de cette ligne a été équipé par la maison Siemens et Halske, de Berlin.

G. P.

Tramway à conducteur de surface et courant alternatifs, par Tyler (¹).

Notre confrère de New-York décrit sommairement un système de distribution pour tramways, dû à M. Tyler, dont nous n'aurions pas parlé si les faits relatés n'étaient donnés comme résultats d'expérience, car il nous semble qu'il doit y avoir quelque erreur d'interprétation ou de rédaction. Nous citons textuellement :

« Le système de distribution consiste en un circuit à courant alternatif monophasé placé sous terre ; sur ce circuit sont montés en dérivation les primaires de transformateurs dont les secondaires sont en dérivation sur les rails de la voie, qui sont ainsi alimentés tous les 150 m environ. Les coupe-circuits sont hardiment (*sic*) exclus ; les primaires sont continuellement reliés aux conducteurs principaux et les secondaires restent constamment attachés à la voie.

» Bien entendu, la voie entière est ainsi constamment chargée et il semblerait qu'avec la différence de potentiel disponible, les pertes à la terre et la possibilité de donner des chocs dangereux aux personnes et aux animaux, rendrait cette disposition prohibitive ; mais si nous pouvons croire les rapports, un mille (1609 m) de voies non isolées, inondées, avec un voltage de 70 et une fréquence de 300 par seconde, n'a donné lieu qu'à une

(¹) *The Electrical Engineer*. (New-York) 6 Mai 1896, p. 468.

perte de 1 100 watts ; en outre, on affirme que l'expérience a amplement démontré qu'aucun choc perceptible n'est reçu, même quand on tient une main en contact avec chaque rail (!). Les conducteurs principaux étant alimentés par un alternateur Westinghouse donnant 1 000 volts et 300 périodes par seconde, un véhicule de 7 1/2 tonnes a été mis en marche à la vitesse de 24 km . h sur les voies de la Fall Brook Railway Company, le moteur monophasé recevant le courant à 70 volts par l'intermédiaire des roues du véhicule ».

Tout ceci est très net, mais pas du tout compréhensible !

G. P.

Les quatre Métropolitains électriques de Chicago (¹)

Chicago a été une des dernières villes des Etats-Unis à adopter la traction électrique. Pour ne pas faillir à sa réputation de « progressive City », du jour où l'emploi du nouveau moteur fut décidé, elle en a poursuivi l'application avec énergie, et elle peut aujourd'hui servir de modèle à nombre de villes.

Le succès de l'Intramural de l'Exposition et, à la suite, du Metropolitan Elevated Railroad que nous avons décrits, a engagé les autres Compagnies exploitant des chemins de fer élevés à employer aussi la traction électrique. Les avantages de celle-ci étaient reconnus depuis longtemps et l'on attendait qu'une démonstration pratique. Elle est faite aujourd'hui de différents côtés, aussi, n'est-il plus question pour les métropolitains que de traction électrique.

On est en train de construire, à Chicago un nouveau chemin de fer élevé, le Northwestern Elevated, qui sera mis en exploitation dans le courant de l'année prochaine. Aux termes du contrat, la superstructure doit être terminée en septembre prochain. La ligne utilisera la « boucle » qui dans le centre de la ville relie entre eux les différents elevated ; elle traversera la rivière à Wells Street, et s'étendra vers le nord ouest, sur une longueur de 11 km environ, jusqu'à Wilson et Evanston avenues, dans Sheridan Park. La majeure partie des fondations sont établies et l'activité est telle sur les chantiers que la construction de la superstructure avance de 61 m par jour au minimum. Le pont actuel sur la rivière, à Wells Street, étant considéré comme trop faible pour le passage des trains, on en construit un nouveau sur le sommet duquel passera la ligne.

A partir du centre, se dirigeant vers le nord, la ligne sera à double voie sur une longueur d'environ 2 500 mètres ; le restant sera muni de 4 voies afin de permettre un service de trains express. Les stations de ce dernier service seront espacées d'environ 1 500 m et les stations du service local d'environ 480 à 500 m. Les lignes du service local seront situées à l'extérieur ; les deux voies intérieures seront réservées au service à grande vitesse ; les stations desservant ces dernières seront situées sur la plateforme entre chacune des voies à grande et à petite vitesse, afin que les voyageurs puissent changer de train en faisant simplement quelques pas sur cette plateforme ; tout billet de correspondance ou autre formalité ennuyeuse seront ainsi évités. De cette façon les voyageurs pourront prendre le train à une station locale, aller en chemin de fer jusqu'à la prochaine station à grande vitesse et changer de train sans difficulté. Les plateformes des stations locales seront à l'extérieur des voies.

Environ 53 000 m² de terrains ont été achetés à l'extrémité nord des voies pour l'érection des ateliers, des hangars à wagons, de la station et des bureaux.

En ce point, la ligne se raccordera avec la ligne de tramways électriques, Chicago North Shore Street Railway, qui s'étend jusqu'à Rogers Park, Edgewater et Evanston ; un plan incliné permettra aux voitures de cette ligne de monter jusqu'au niveau des voies du chemin de fer afin de faciliter la correspondance aux voyageurs.

(¹) D'après le *Street Railway Journal*.

Le Northwestern Elevated sera équipé électriquement.

Avant qu'il soit terminé, la « boucle » dont nous parlions plus haut, s'étendant sur la 5e avenue, à l'ouest, Harrisson Street, au sud Wabash avenue, à l'est, et Lake Street, au nord, sera exploitée ; la partie de cette ligne, située sur Lake Street est déjà construite. Cette ligne sera aussi exploitée par l'électricité. Comme la ligne du Lake Street Elevated, transforme actuellement son matériel pour remplacer la vapeur par l'électricité, Chicago aura donc quatre chemins de fer électriques dans le courant de l'année prochaine. Il ne restera plus que les lignes de la South Side Rapid Transit Railroad Company, allant à Jackson Park, qui aient conservé la traction à vapeur.

La station centrale du Northwestern Elevated sera située près de Fullerton et de Southport Avenues, près des lignes du chemin de fer de Chicago-Minneapolis et Saint-Paul ; elle y sera reliée par des embranchements pour faciliter l'approvisionnement du combustible. Elle aura une puissance totale de 7 000 chevaux et comprendra 3 groupes à accouplement direct de 2 000 chevaux et un groupe de 1 000 chevaux. Il y aura 37 wagons moteurs et 113 attelages, chacun à 42 places.

Les rails à T de 40 kg par mètre linéaire formeront la voie ; le courant sera probablement amené par un troisième rail, semblable à celui du Metropolitan Elevated. On estime qu'il entrera plus de 35 000 tonnes d'acier dans la construction de cette ligne dont le prix serait d'environ 35 000 000 fr.

G. P.

Accumulateurs Schneider (1895).

La plaque a la forme d'un gril *a* avec barreau *b* reliés par des bandes ondulées *c* (fig. 1 à 6) ; la pâte logée entre les barreaux *b* et les ondulations de *c*, est retenue par les projections *d* de *c* et *f* de *b*, à creux correspondants *c*.

Ces accumulateurs très énergiques donneraient un débit de 2 à 3 ampères par centimètre carré de plaque et résisteraient facilement aux variations brusques de cette intensité.

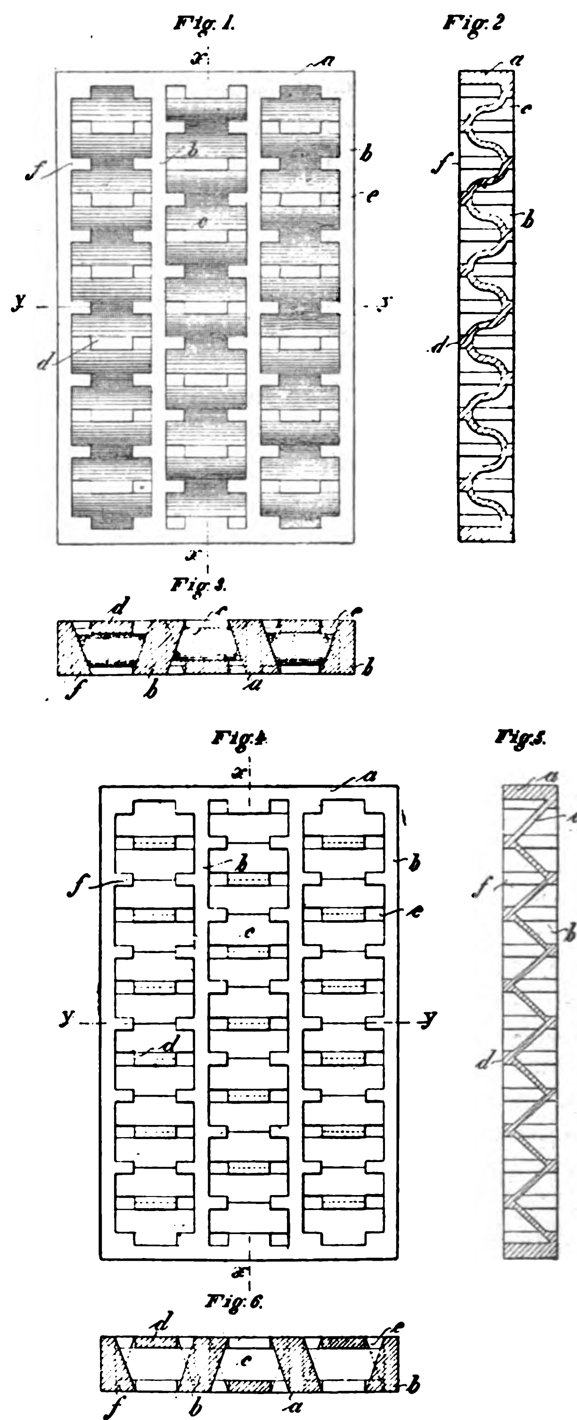


Fig. 1 à 6.—Accumulateurs *Schneider*.

G. R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société française de Physique.

Séance du 17 juillet 1896.

M. *A. Broca* décrit un « Galvanomètre à astatisme parfait et grande sensibilité » qui a été également l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences reproduite plus loin.

M. *Jean Perrin* expose les idées qu'il a développées récemment dans ce Journal [1] sur le « Mécanisme de la décharge des corps électrisés par les rayons Roentgen ».

Rappelons que, suivant M. Perrin, « les rayons de Roentgen ne déchargent pas les corps électrisés, mais, indépendamment de l'existence même d'un champ électrique, altèrent la nature des gaz qu'ils traversent ».

M. *Benoist,* à la suite de cette communication, dit que tout en acceptant les idées émises par M. Perrin, il ne peut renoncer à l'idée que les rayons Roentgen aient un effet direct sur les corps électrisés qu'ils rencontrent. Il croit que le phénomène de l'altération de la nature des gaz et le phénomène de la décharge directe existent simultanément, ce dernier ayant une influence prépondérante dans la plupart des expériences faites jusqu'ici sur la décharge des corps électrisés par les rayons de Roentgen. Il expose à ce propos les expériences qu'il a faites en collaboration avec M. Hurmuzescu [2] et qui ont conduit à la loi de l'action en raison inverse du carré de la distance, à celle des pouvoirs absorbants et enfin à celle de la densité des gaz.

Outre les expériences qui ont déjà été publiées sur la loi de l'inverse du carré de la distance [3], M. Benoist cite la suivante : A une certaine distance de la région anticathodique d'un tube de Crookes, sont disposées les lames d'un condensateur chargé dont l'une est en communication avec un électroscope à feuilles d'or ; dès qu'on fait fonctionner le tube, les feuilles se rapprochent et les temps qu'elles emploient pour revenir en contact sont proportionnels aux carrés des distances de la paroi anticathodique à l'armature *positive* du condensateur.

L'influence de la nature du corps électrisé soumis à l'action des rayons de Roentgen a été mise en évidence par de nombreuses expériences [1] ; l'auteur rappelle qu'il a trouvé que la déperdition est deux fois plus lente pour une lame d'aluminium que pour une lame de platine.

Quant à la loi de la densité des gaz, elle s'exprime ainsi : La vitesse de dissipation de l'électricité par les rayons X, pour un même corps électrisé dans les mêmes conditions, varie proportionnellement à la racine carrée de la densité du gaz où il est plongé.

De l'ensemble de ces faits, M. Benoist conclut que les rayons X agissent, non seulement sur le trajet des tubes de force, mais surtout aux points de départ de ces tubes.

M. Perrin fait observer que la loi de la densité des gaz s'explique parfaitement dans les idées qu'il a émises : plus un gaz sera léger, moins les rayons X rencontreront, pour un même trajet, de molécules gazeux et, par suite, moins la déperdition sera rapide.

Quant à l'objection faite par M. Benoist qu'un corps enfermé dans un diélectrique solide peut, comme l'a annoncé M. Thomson, être déchargé par les rayons X, M. Perrin l'explique, ainsi qu'il l'a dit dans l'article précédemment rappelé, par un effet de condensation, explication d'ailleurs énoncée déjà par Roentgen.

A propos de la différence d'action des rayons X sur un disque de platine et un disque d'aluminium électrisés, il fait remarquer que les expériences de M. Benoist ayant été

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 545 ; 20 juin 1896.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 308 ; 15 févier 1896.

[3] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 779 ; séance du 30 mars 1896.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 926 ; séance du 27 avril 1896.

faites avec une incidence normale et les siennes avec une incidence rasante, il ne résulte pas de la divergence de leurs résultats une divergence dans le mode d'action des rayons X, le phénomène pouvant dépendre de l'incidence.

Enfin il objecte à la loi de l'inverse du carré de la distance la difficulté de comprendre pourquoi elle se vérifie quand on prend la distance de la paroi anticathodique à l'armature positive, tandis qu'elle ne se vérifie pas quand on prend la distance à l'armature négative.

A cette dernière objection M. Benoist répond qu'on doit considérer cette loi comme un fait d'expérience, indépendamment de toute idée théorique et qu'il n'y a pas, dès lors, utilité de se l'expliquer.

J. B.

Sur un galvanomètre absolument astatique et à grande sensibilité, par A. Broca (¹)

« Il y a un an, M. Pierre Weiss (²) a montré tout l'avantage qu'on pouvait retirer de l'emploi des équipages à aiguilles verticales pour le galvanomètre Thomson. Depuis cette époque, j'ai employé cet équipage d'une manière constante, et je l'ai trouvé d'un emploi très commode, mais d'une construction délicate. Il faut, en effet, pour se mettre tout à fait à l'abri des perturbations du champ terrestre, amener les aiguilles à un parallélisme absolu. Cela est difficile à réaliser géométriquement, et aucune méthode expérimentale de retouche ne permet d'y arriver.

» J'ai alors songé à remplacer les aiguilles ordinaires par des aiguilles ayant en leur milieu un point conséquent. Le point conséquent de l'une des aiguilles étant austral et celui de l'autre étant boréal, si l'on place les aiguilles rigoureusement verticales et les pôles de noms contraires en regard, on aura un système qui sera astatique pour la même raison que l'équipage de M. Pierre Weiss. Mais, en outre, il est aisé de voir que, si le point conséquent de chacune des aiguilles est rigoureusement en son milieu, et si l'aiguille est rigoureusement droite, chacune d'elles, prise isolément, sera toujours en équilibre indifférent dans un champ uniforme, quelle que soit la position dans laquelle elle est suspendue.

» Supposons, maintenant, un couple de ces aiguilles formant un équipage : il est aisé de voir que la verticalité des aiguilles réduira au second ordre l'erreur résiduelle relative à chaque aiguille, au point de vue de l'astaticité, et que l'ensemble des deux sera insensible, non seulement à un champ uniforme, mais même à un champ uniformément varié. En effet, le moment relatif au couple de points conséquents est juste double du moment μ relatif à chacun des couples de pôles ordinaires. Si donc nous appelons f_1, f_2, f_3 les forces magnétiques horizontales aux trois pôles du système, le couple agissant sera $\mu f_1 - 2\mu f_2 + \mu f_3$ ou $\mu(f_1 - 2f_2 + f_3)$. Pour que ce couple ne soit pas nul, il faut que f_2 ne soit pas la moyenne de f_1 et de f_2, ou que la courbe qui représente la variation du champ le long de la direction de l'équipage ne puisse pas être confondue avec sa tangente, pour une variation de la variable égale à la longueur des aiguilles.

» Un système ainsi constitué est pratiquement indépendant des perturbations magnétiques dues même à des aimants puissants tant que leur distance à l'équipage n'est pas du même ordre de grandeur que les dimensions de celui-ci. Au contraire, un aimant, même très faible, à une distance de cet ordre de grandeur, permet d'en être absolument maître. Pour diriger convenablement les équipages et leur donner le temps d'oscillation voulu, l'aimant directeur ordinaire est donc tout à fait incommode. Je l'ai remplacé par deux petites aiguilles aimantées très fines et placées l'une normalement aux bobines du galvanomètre, l'autre parallèlement et à la

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 101 ; séance du 13 juillet 1896.

(²) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 728; 1895. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 110, 19 octobre 1895.

hauteur de l'un des pôles de l'équipage. Ces aiguilles ne peuvent prendre que les mouvements de translation dans de petits tubes à frottement doux. L'aiguille normale sert à annuler, une fois pour toutes, les forces qui dévient l'équipage de sa position d'observation. On peut ensuite faire varier la grandeur de la force directrice, au moyen des aimants parallèles aux bobines. L'emploi de l'aimant normal est d'ailleurs d'un grand secours dans beaucoup de cas. Je me réserve de revenir ultérieurement sur ce sujet.

» Pour réaliser pratiquement le système, il faut faire les aiguilles droites et les amener à avoir un moment magnétique nul. La première condition est aisée à réaliser par un procédé que m'a indiqué M. Gaiffe : il suffit de chauffer et tremper le fil tendu par un poids ; si la chauffe est régulière, on a ainsi des fils rigoureusement droits.

» L'aimantation se fait en frottant le milieu de l'aiguille sur un angle d'un fort aimant. Le point conséquent ainsi formé peut se déplacer sous l'action de l'aimant qui l'a donné. On peut donc ainsi retoucher chaque aiguille séparément, jusqu'à ce qu'elle soit en équilibre à peu près différent dans le champ terrestre, même quand elle est suspendue horizontalement.

» La sensibilité d'un galvanomètre dépendant essentiellement de l'aimantation des aiguilles, j'ai cherché si l'aimantation ainsi obtenue était comparable à celle que prennent les aiguilles à deux pôles ordinaires. En mesurant balistiquement le flux émis par les surfaces polaires extrêmes de deux aiguilles de même longueur, prises dans le même échantillon, j'ai vérifié que l'aimantation de l'aiguille à point conséquent était 0,9 de celle de l'aiguille ordinaire. Le résultat est donc satisfaisant.

» La permanence de l'aimantation est bonne aussi. Un équipage, assez astatique pour qu'une torsion de 360° du fil de cocon simple de 12 cm de long qui le suspendait lui donnât une déviation de 90°, avait gardé, au bout de six semaines, son plan d'équilibre et sa période d'oscillation.

» Ces équipages peuvent être utilisés, soit avec une seule paire de bobines agissant sur le pôle double, soit avec deux paires dans le même sens agissant sur les pôles extrêmes, soit avec trois paires agissant sur chacun des points aimantés.

» Dans le premier et le second cas, on gagne, en outre, l'action des bobines sur les pôles situés en dehors.

» J'ai fait construire un galvanomètre à une paire de bobines, qui m'a permis, avec les dimensions pour lesquelles M. Pierre Weiss a réalisé la constante de 110 (bobine de 27 mm) de réaliser la constante de 250, et l'équipage que j'ai construit est loin des meilleures conditions possibles.

» Le galvanomètre à trois bobines donne lieu à un problème de maximum, pour savoir quel doit être le rapport des dimensions des bobines extrêmes à celles de la bobine centrale, et le rapport des diamètres des fils à enrouler sur ces bobines. On trouve facilement que le diamètre doit être le même pour les deux fils et que les dimensions doivent être dans le rapport $\frac{1}{\sqrt{2}}$. En poussant le calcul plus loin, on voit que le galvanomètre à une seule paire de bobines est plus sensible que celui à deux paires et perd très peu de chose sur celui à trois paires. Il est donc préférable, à cause de sa simplicité, et c'est pour cela que je m'y suis tenu.

» On conçoit la possibilité de construire des galvanomètres avec des aiguilles présentant un nombre impair quelconque de points conséquents. La sensibilité augmente théoriquement au delà de toute limite, mais au prix d'une extrême complication. De plus, ces équipages, encore insensibles à un champ uniforme, deviendront sensibles à un champ uniformément varié. Ce mode de construction pourra cependant être envisagé pour la réalisation de galvanomètres très résistants et très sensibles. De plus, les poids morts, miroir et mastic, pouvant rester à peu près les mêmes, la qualité de l'équipage peut être sensiblement augmentée par ce procédé, dont

la difficulté réside uniquement dans la construction d'aiguilles longues et droites, et aimantées convenablement avec plusieurs points conséquents. »

Sur la manière dont les rayons X provoquent la décharge des corps électrisés, par Emile Villari (¹)

« Dans une de mes Notes précédentes, présentée le 14 mars 1895 à l'Académie de Naples, j'avais déjà indiqué la manière dont la décharge électrique est provoquée par les rayons X. Depuis lors, j'ai fait de nouvelles recherches, dont j'exposerai le résumé.

» 1° La décharge d'un conducteur faite dans l'air, lorsqu'elle est provoquée par les rayons X, semble avoir lieu par *convection* ou par transport, et, pour ainsi dire, par une danse électrique des particules d'air, activée par la radiation.

» 2° La décharge du conducteur se ralentit lorsqu'on diminue la surface du conducteur électrisé exposée à l'air, en en couvrant une partie avec de la paraffine.

» 3° Lorsque le conducteur chargé est tout couvert de paraffine en contact, la décharge, à peine commencée par les rayons X, s'arrête. Le peu d'électricite transportée, peut-être par les traces d'air environnant, charge la paraffine et la décharge ultérieure est empêchée.

» 4° Si le conducteur est entouré par l'air et par un tube de paraffine, il se décharge d'abord assez rapidement sous l'influence des rayons X ; mais, aussitôt après, la décharge procède avec une très grande lenteur. L'électricité transportée, comme d'habitude, par l'air charge aussitôt les parois du tube et se disperse ensuite avec difficulté.

» 5° L'électricité, qui s'est dispersée du corps sous l'action des rayons X, peut se réunir sur un tube de paraffine ou de métal isolé, lorsqu'ils entourent le corps qui se décharge. L'électricité réunie sur le tube de paraffine ou de métal peut être directement observée au moyen d'un électroscope à pile sèche, et se trouve être, comme il est naturel, de la même nature que celle du corps.

» 6° Les tubes métalliques, isolés ou non, qui entourent l'électroscope, servent à y condenser les charges. Ils en ralentissent la décharge produite par les rayons X, soit par la plus grande électricité accumulée, soit aussi par leur transparence incomplète aux rayons mêmes. »

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 106 ; séance du 13 juillet 1896.

De l'action des tubes et des disques métalliques sur les rayons X, par Émile Villari (¹)

« Dans diverses Notes, déjà présentées à l'Académie de Naples, j'ai démontré que les rayons X, lorsqu'ils passent par des tubes opaques à demi transparents ou transparents, perdent beaucoup, peu ou très peu de leur efficacité à décharger un électroscope électrisé. Il semblerait, par là, que les rayons agissent, non seulement du côté de leur direction, mais aussi latéralement, et les tubes opaques, en supprimant les rayons latéraux divergents, et en ne laissant passer que ceux qui vont en ligne droite entre l'ampoule de Crookes et l'électroscope, diminuent l'efficacité de la radiation totale.

» Les expériences qui suivent ont rapport à ces phénomènes :

» J'ai placé une ampoule en poire dans une grande caisse en plaques de plomb, de 4,4 mm d'épaisseur, et tout à fait opaques aux rayons X, avec un trou de 9 cm vis-à-vis du fond de l'ampoule. Dans ce trou, j'ai introduit un tube de fer blanc de 9×25 cm ; à 35,5 cm de l'ampoule, j'ai placé un disque en plomb de $13,5 \times 0,44$ cm, et à 7,5 cm un électroscope renfermé dans une cage de garde. Ces diverses parties étaient centrées. Ayant mis l'ampoule en activité, j'ai observé :

» 1° Que, sans le tube en fer blanc et sans le disque de plomb, la décharge de 5° se faisait en 3', 7 ;

» 2° Que le tube tout seul ralentit un peu la décharge des 5', de 3', 7 à 4', 5 ;

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 107, séance du 13 juillet 1896.

» 3° Que le disque tout seul, à cause de l'ombre qu'il produit, ralentit de beaucoup la décharge usuelle, de 3ˢ,7 à 12ˢ ;

» 4° Que le disque ralentit encore davantage la décharge des 5°, lorsque les rayons qui le frappent ont passé par le tube de fer blanc.

» Ceci confirme que les rayons qui sortent du tube sont, pour ainsi dire, plus serrés ; qu'ils peuvent plus difficilement se replier sur le bord du disque et frapper l'électroscope placé dans son ombre.

» J'ai couvert un côté d'une plaque de cuivre (7 × 7 × 0,04 cm), unie à l'électroscope, par une plaque de paraffine (9 × 9 × 1,5 cm) et j'ai observé que, en exposant la paraffine à l'action des rayons, la décharge de 5° se faisait en 29ˢ, 4, et que, en exposant le côté découvert de la plaque de cuivre à la radiation, la même décharge se faisait en 21ˢ.

» Et comme j'ai démontré que la décharge d'un conducteur couvert de paraffine est minime ou nulle, on doit croire que, dans le cas précédent, la décharge se fait toujours du côté métallique, même lorsqu'il n'est pas directement frappé par les rayons X.

» Les rayons qui frappent la paraffine pourraient peut être, vu la transparence de la mince plaque de cuivre, se transmettre à son côté découvert et y provoquer la décharge. Mais ayant répété l'expérience avec un gros disque de plomb (8 × 0,44 cm), tout à fait opaque, et ayant obtenu des résultats identiques aux précédents, le phénomène ne peut être attribué à la transparence du métal. Il ne peut non plus être attribué à une conductibilité spéciale du métal même pour l'efficacité des rayons, transmise du côté paraffiné au côté découvert, pour l'expérience suivante :

» J'ai réuni à l'électroscope, par un mince fil de cuivre de 80 cm, un disque d'aluminium de 6 cm de diamètre. J'ai enveloppé le conducteur de l'électroscope et le fil par une forte couche de paraffine, de manière que le disque d'aluminium seul restait exposé au contact de l'air. J'ai couvert le tout d'une cage de garde en communication avec le sol et, après avoir chargé l'électroscope au moyen du disque et du fil, je l'ai exposé, tout seul, à l'action des rayons X. Après une légère décharge initiale, l'électroscope reste complètement immobile ; et cette décharge initiale n'a lieu que dans les premières expériences, jusqu'à ce que la surface de la paraffine en contact avec le conducteur chargé ait pris la charge de ce dernier.

» Donc, l'activité des rayons qui frappent l'électroscope n'est pas transmise par le fil au disque d'aluminium, car, autrement la décharge serait produite par lui. Par conséquent, dans le cas du disque de plomb frappé par les rayons du côté paraffiné, la décharge du côté découvert ne peut être produite que par les rayons qui contournent le bord du disque et pénètrent dans son ombre.

» Cette explication est, à son tour, encore confirmée par l'expérience suivante :

» J'ai placé devant l'ampoule de Crookes une plaque de zinc complètement opaque (40 × 40 × 0,42 cm) avec un trou central de 4 cm vis-à-vis de l'ampoule. J'ai introduit dans ce trou un petit tube en fer blanc (6 × 6 cm) de manière à obtenir des rayons peu divergents. J'ai exposé à leur action le côté paraffiné du disque de plomb habituel, et la décharge de 5° de l'électroscope qui y était uni se fit en 350ˢ à 400ˢ. Ayant ensuite exposé le côté découvert du disque à l'action des rayons X, la décharge de 5° se fit en 40 à 50ˢ, c'est à dire un peu plus de $\frac{1}{10}$ du temps. Dans les premières expériences faites, sans le petit tube en fer blanc, la différence du temps de la décharge, dans les deux manières d'agir dont je viens de parler, était à peine de 23ˢ à 17ˢ environ. Dans ce dernier cas, c'est à dire sans le petit tube en fer blanc, les rayons divergents et latéraux passent mieux sur le bord du disque, se replient sur son côté qui est à l'ombre et en activent la décharge presque avec autant de force que s'ils le frappaient directement ; ce qui n'a lieu qu'en partie lorsque les rayons ont passé par le tube de fer blanc. »

Action des rayons de Roentgen sur le bacille diphtérique, par F. Breton (1)

» J'ai exposé des cultures du bacille de la diphtérie, en bouillon, aux rayons de Roentgen pendant seize heures, trente-deux heures, soixante-quatre heures. Après chaque durée d'exposition les cultures étaient ensemencées dans du bouillon et injectées à des cobayes (deux cobayes pour chaque culture). Une culture témoin a été également réensemencée et injectée à deux cobayes. Je n'ai obtenu aucun résultat. Les cultures exposées et réensemencées ont poussé aussi rapidement et aussi abondamment que la culture témoin. Les animaux sont morts aussi rapidement que les témoins.

» Ce résultat est conforme à celui qui a été obtenu par MM. Wade (*British med.*, février 1896) et Minck (*Munch. med. Wochenschr*., 1er mai 1896). »

Sur le rôle du circuit électro-neuro-musculaire, par E. Solvay (2).

Il y a quelques années, l'auteur émettait l'hypothèse de l'existence d'un circuit électro-neuro-musculaire, comparable à celui d'une pile dont l'énergie serait fournie par les oxydations interstitielles siégeant principalement dans les muscles. Dans une communication adressée a l'Académie le 8 juin dernier, M. Charles Henry apportait un argument nouveau en faveur de cette hypothèse et appliquait les lois connues du transport de l'énergie dans les piles à réophores métalliques au cycle formé par le centre moteur supposé cortical, la mœlle, le nerf moteur, les muscles fléchisseurs de la main, le nerf sensitif, la mœlle et le cerveau; il se trouvait ainsi amené à envisager le nerf comme un conducteur par lequel passerait la totalité du courant provenant de la pile.

Tout en admettant que ces conditions puissent être réalisées chez les organismes rudimentaires, M. Solvay ne croît pas que dans le cycle électroneuro-musculaire, la totalité de l'énergie produite traverserait la totalité du circuit ; il cite à l'appui de sa manière de voir les résultats des expériences faites depuis plusieurs années à l'Institut Solvay.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 109, séance du 13 juillet 1896.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 130 ; séance du 13 juillet 1896.

Evaporation cutanée chez le lapin. Modifications sous l'influence de l'excitant électrique, par Lecercle (1).

L'auteur a déterminé la quantité de vapeur d'eau éliminée pendant dix minutes sans faire passer le courant, puis la quantité éliminée pendant le même temps l'animal étant soumis à un courant continu d'intensité égale à 10, 20 ou 30 milliampères ; ce courant était fourni par une batterie d'accumulateurs dont l'un des pôles était relié à deux électrodes disposées à la racine des cuisses de l'animal en expérience et dont l'autre communiquait à une troisième électrode placée sur la région lombaire.

Les résultats obtenus montrent que la galvanisation augmente, d'une façon certaine, l'évaporation cutanée chez le lapin. La considération des moyennes indique que l'évaporation augmente en même temps que l'intensité et atteint un maximum. Après le passage du courant, l'excitation imprimée aux organes glandulaires se poursuit, et l'évaporation est même plus grande en moyenne que pendant le passage du courant.

Note sur le traitement des maladies par ralentissement de la nutrition par les courants de haute fréquence, par R. Vigouroux (2).

A l'occasion d'une communication récente de M. d'Arsonval (3) l'auteur fait remarquer que l'efficacité de l'électricité statique, dans le

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 128 ; séance du 13 juillet 1896.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 137 ; séance du 13 juillet 1896.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 186 ; 25 juillet 1896.

traitement des maladies par ralentissement de la nutrition (rhumatisme chronique, goutte, diabète, etc.), a été souvent constatée. Il reproduit, entre autres citations, l'observation d'un cas de diabète, traité par lui. Ce cas paraît présenter la plus grande analogie avec celui qui est rapporté par M. d'Arsonval, et n'en différer que par des chiffres plus exceptionnellement élevés.

L'auteur fait, en outre, des réserves sur la substitution des courants de Tesla, dans le traitement des maladies par ralentissement de la circulation, à l'électricité statique ; l'application de ces courants, dont les propriétés physiologiques sont encore peu connues, ne paraît pas exempte de danger, particulièrement lorsque ces maladies sont accompagnées de lésions du cœur et des gros vaisseaux, comme il arrive fréquemment.

Etude du carbure de lanthane, par Henri Moissan (1).

Comme suite à l'étude des carbures de cérium, d'yttrium et de thorium, l'auteur donne le résumé de son étude sur le carbure de lanthane. En voici les conclusions :

L'oxyde de lanthane, mélangé de charbon et chauffé dans le four électrique, produit avec facilité un carbure transparent et cristallisé de formule C^2La. Ce carbure est décomposable par l'eau à la température ordinaire en fournissant un mélange d'acétylène et de méthane accompagné de traces d'éthylène. La proportion de méthane est un peu plus forte que celle fournie par le carbure de cérium. Au moment de sa destruction par l'eau, ce composé fournit une très petite quantité de carbures liquides et solides.

Electroscope à trois feuilles d'or, par L. Benoit (1).

« J'ai apporté à l'électroscope à feuilles d'or une modification très simple, qui en augmente la sensibilité, et en rend plus précis l'emploi comme électromètre.

» Elle consiste à le garnir de *trois* feuilles d'or de même dimensions, que l'on saisit à la fois par une de leurs extrémités au moyen d'un morceau de papier d'étain, disposition déjà employée dans le cas de deux feuilles, et que l'on fixe à la pince qui termine la tige isolée de l'électroscope. L'addition d'une *troisième* feuille d'or présente les avantages suivants.

» Quand on charge l'électroscope, la feuille centrale reste verticale, et les deux autres s'en écartent d'un même angle de chaque côté ; la première forme un véritable fil à plomb, servant de repère pour la mesure des angles, qu'il est commode d'effectuer au moyen d'un rapporteur transparent fixé sur la glace antérieure de la cage métallique, et que l'on centre facilement par rapport aux feuilles d'or ; on observe avec un viseur suffisamment éloigné.

» D'autre part, la sensibilité est notablement plus grande qu'avec deux feuilles ; car ici, chaque feuille extrême est quatre fois plus fortement repoussée par la feuille centrale que par la feuille opposée, de telle sorte qu'une même divergence s'obtient avec une charge moindre, bien que cette charge soit répartie entre trois feuilles au lieu de deux.

» Un calcul simple montre immédiatement que, pour les petits angles, la sensibilité est accrue dans le rapport de 1 à 1,49; et une formule plus générale, facile à établir, prouve que la sensibilité augmente davantage à mesure que l'angle de divergence augmente.

» Dans l'électroscope à deux feuilles, la sensibilité devient nulle au voisinage d'un angle de 90° compté à partir de la verticale ; c'est l'angle limite au voisinage duquel un nouvel accroissement de charge ne produit aucun nouvel accroissement de divergence. Avec trois feuilles, l'angle limite est porté à 120°. L'appareil peut ainsi servir pour de plus haut potentiels, sans que l'on ait à craindre l'arrachement des feuilles d'or. »

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 148 ; séance du 20 juillet 1896.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 171 ; séance du 20 juillet.

Sur l'emploi du pont de Wheatstone et de Kirchhoff, par F. Kohlrausch. (¹)

L'auteur décrit quelques modifications qu'il a apportées dans la construction du pont à curseur. Dans un mémoire antérieur, il a donné la description d'une forme nouvelle de cet appareil, qu'il a appelé pont à tambour (Walzenbrücke). Pour augmenter la précision des mesures, il ajoute deux bobines de résistance auxiliaires, dont la résistance est égale à 4,5 fois celle du fil. Ces bobines peuvent être ajoutées en série sur l'une des moitiés du fil ou une sur chaque moitié.

Si les résistances à comparer sont très voisines, on met une bobine sur chaque moitié du fil. Si celui-ci est gradué en 1000 divisions, il revient au même de mettre dans le circuit $\frac{1}{10}(4\,500 + n)$ divisions, au lieu de n sans les bobines auxiliaires : il faut donc ajouter 4 500 à la lecture et diviser par 10, Tant que la différence entre les résistances à mesurer ne dépassent pas 20 pour 100, on obtient une précision de $\frac{1}{25000}$ si on peut lire le 10e de division.

Si les résistances sont très différentes on ajoute les deux bobines du côté de la plus faible : il faut alors augmenter la lecture de 9 000 et diviser par 10.

La résistance du fil peut changer avec le temps, principalement par suite des modifications qui se produisent dans les contacts à ses extrémités. On peut contrôler l'exactitude de la table de correction primitive, en mesurant le rapport de deux résistances très différentes (1 ; 100), d'abord avec le fil seul, puis avec le fil prolongé par les bobines auxiliaires. Si la correction est encore exacte, on trouve dans les deux cas, le même nombre.

Un commutateur à chevilles permet d'établir les communications nécessaires.

L'appareil tout entier, hormis les pièces qui servent de passage au courant, est construit en bois paraffiné. Le fil est enroulé dans une rainure peu profonde tracée sur la surface d'un tambour ; il forme 10 spires ; une petite roulette de 1 cent. de diamètre et portant aussi une rainure sert à prendre le contact. La base du tambour porte sur son pourtour une division en 100 parties qui permet d'apprécier un déplacement de $\frac{1}{10000}$ de la longueur du fil. Les extrémités du fil sont reliées aux axes de laiton qui pénètrent dans les deux bases du tambour et qui tournent sur deux coussinets en V : le contact est assuré par des brosses en fil de laiton dur qui en même temps éloignent la poussière.

Dans les mesures faites avec les courants alternatifs sur les électrolytes médiocrement conducteurs, il est nécessaire de disposer d'un petit condensateur, à capacité variable, pour compenser les capacités électrostatiques. On construit facilement un pareil condensateur de la façon suivante : Une feuille de papier ordinaire, imprégnée de paraffine, est pliée en dix zig-zags ; sur l'une des faces on colle une feuille de clinquant qui couvre tout le papier, sauf un centimètre sur les bords ; sur l'autre face, on colle d'autres feuilles de surface égale à 1/2, 1/2, 1, 2, 4... 128 cmq. (fig. 1) et qui se relient à des fils de cuivre. Ensuite on plie le papier et on met tout le système entre deux morceaux de drap, entre deux planches qui les déborde. Les fils de cuivre sont reliés eux-mêmes à de petits blocs, placés vis-à-vis d'une bande de laiton : les blocs peuvent être mis en communication avec la bande au moyen de chevilles. Les extrémités de la résistance sur laquelle on veut mettre le condensateur en dérivation, sont attachées aux deux bornes de ce dernier, dont l'une se trouve sur la bande de laiton et dont l'autre est en communication avec l'armature commune.

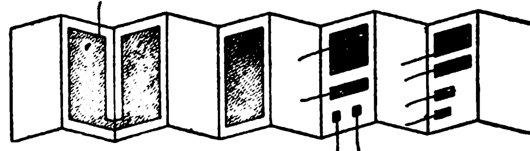


Fig. 1.

La résistance d'isolement dépasse 50 mégohms.

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 177.

Enfin, si on veut compenser les résidus de polarisation d'après la méthode de Nernst, on emploie avec avantage, les électrodes à immersion décrites précédemment (¹).

BIBLIOGRAPHIE

L'Éclairage électrique. — *Traité pratique de montage et de conduite des installations d'éclairage électrique*, par FRANÇOIS MIRON, ingénieur-électricien. 3 vol. in-8° formant ensemble 1 630 pages et contenant 875 figures dans le texte et 38 planches hors texte. — *J. Fritsch*, éditeur, Paris. Prix des 3 volumes : brochés, 25,50 fr ; cartonnés, 28 fr.

Depuis quelques années, les installations d'éclairage électrique ont pris un développement considérable, et grand est le nombre de ceux qui, par profession ou par intérêt, doivent se tenir au courant des détails, parfois compliqués, d'une installation d'éclairage public ou privé. Les ouvrages sur la question sont assez nombreux, il est vrai ; mais on leur reproche généralement d'être ou trop théoriques ou trop superficiels.

M. Miron s'est proposé de faire, avant tout, un ouvrage bien pratique donnant à l'ingénieur tous les éléments d'étude d'une installation, et au monteur électricien la connaissance des divers types d'articles d'appareillage et de leur emploi.

Le tome 1er de cet ouvrage est plus spécialement consacré à l'exposé des bases d'une installation. Après avoir passé en revue les différents modes de production de la force motrice, l'auteur étudie la production de l'énergie électrique et son utilisation pour l'éclairage (dynamos, alternateurs, transformateurs, accumulateurs) ; il donne ensuite une description très complète des différents modes de distribution avec nombreux schémas explicatifs et termine par l'installation de la ligne. Suit un intéressant chapitre sur la photométrie.

Le tome II est consacré à l'étude des installations privées. L'auteur y décrit les appareils de mesures et de contrôle, le groupement des foyers lumineux, l'appareillage, les tableaux de distribution pour installations privées, les lampes et leur mode de fonctionnement. Comme conclusion pratique, l'auteur donne deux devis d'installation de la lumière électrique dans une villa et dans une usine, prises comme type de l'éclairage privé.

L'éclairage public fait l'objet du tome III. Négligeant le côté descriptif proprement dit, M. Miron donne de grands développement à l'étude des conditions d'installation et de fonctionnement de stations centrales distribuant par courant continu, alternatif ou polyphasé ; il insiste d'une manière spéciale sur les différents systèmes de canalisation souterraine et de tableaux de distribution.

Comment prévoir la puissance d'une usine et le mode de distribution pour l'éclairage d'une ville ? Cette question ne peut être résolue que par comparaison avec les distributions existantes. Aussi, l'auteur a-t-il fait suivre les renseignements généraux qui précèdent de la description avec nombreux détails inédits de stations centrales de faible, de moyenne et de grande importance, qui constituent autant d'exemples et fournissent de précieux éléments de comparaison pour l'établissement d'un devis.

L'éclairage électrique appliqué à l'art militaire est ici exposé pour la première fois : éclairage des forteresses, des camps retranchés, des cuirassés, des côtes, etc., forment une série de chapitres d'un haut intérêt, dont les officiers du Génie feront leur profit.

L'ouvrage se termine par l'exposé des lois et règlements qui régissent l'éclairage électrique.

Comme on le voit, cet ouvrage essentiellement pratique constitue à lui seul une véritable encyclopédie ; c'est la publication la plus complète sur l'éclairage électrique.

Ouvrages reçus

Dictionnaire d'électricité, par JULIEN LEFÈVRE, fascicules 25 à 30. — *J. B. Baillière et fils*, éditeurs, 19, rue Hautefeuille, Paris.

(¹) KOHLRAUSCH. *Lum. Elect.*, t. LII, p. 545. NERNST. *L'Écl. Élect.*, t. VII, p. 372.

Dictionnaire de chimie, à l'usage des chimistes, des industriels, des fabricants de produits chimiques, etc, par EMILE BOUANT, agrégé des sciences physiques. Introduction par L. TROOST, membre de l'Institut. Paraît en 24 séries hebdomadaires de 48 pages à 1 fr. — *J. B. Baillière et fils*, éditeurs.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Brescia (Italie). — Transport de force. — Cette ville vient d'être dotée d'une distribution d'énergie électrique dont l'usine génératrice est située à 22 kilomètres de Brescia, à Calvagèse où l'on a utilisé les eaux d'une rivière, la Chiese, pour la production de l'électricité. L'installation hydraulique comprend trois turbines de 100 chevaux et une de 200, actionnant, les premières trois dynamos à courant continu à 1 400 volts, et la dernière une dynamo de même type à 2 700 volts. Après avoir traversé les appareils de mesures du tableau de distribution, la totalité du courant est transmise à Brescia au moyen d'une canalisation aérienne. La perte en ligne est de 700 volts, la tension à l'arrivée à la sous-station n'est plus que de 7 200 volts. Cette tension est ramenée à des voltages divers, selon le genre d'utilisation, par 6 transformateurs rotatifs dont le courant est amené à un tableau de distribution général d'où il est réparti dans toutes les artères du réseau. Pendant la journée, on charge deux batteries de 72 accumulateurs qui sont mises en connexion avec le système de distribution à trois fils du réseau.

Le prix moyen de l'énergie électrique est d'environ 0,65 fr à 0,80 fr le kilowatt.

Chicago. — Traction. — S'il faut en croire ce que rapporte notre confrère *The Electrical Engineer* de New-York, la ville de Chicago posséderait bientôt le plus grand réseau de tramways et de chemins de fer électriques du monde. Il est question, paraît-il, de créer un réseau d'une longueur totale de près de 400 kilomètres et dont les nombreux branchements traverseront trois provinces de l'Illinois, sept du Wisconsin et toucheront Madison, Mil-Waukee, Lake Genwa et environ 80 lacs très fréquentés des touristes pendant la saison d'été. Les principaux membres de la nouvelle compagnie sont déjà nommés.

Kecskemet (Bulgarie). — Transport de force et éclairage. — Le Conseil Municipal de Kecskemet vient d'accepter d'une façon définitive le projet proposé depuis le 23 avril, par MM. Ganz et Cie de Budapest.

La station centrale dont les travaux vont commencer comprendra trois groupes générateurs de courant alternatif qui pourront être couplés en parallèle et un autre groupe servant de réserve.

Le courant produit à la tension de 2 000 volts sera conduit par une canalisation souterraine à une sous-station de transformation, qui ramènera la tension à 100 volts pour l'utilisation par les petits moteurs et par les lampes.

Comme une partie du courant de l'usine est destinée à la traction électrique des tramways, la sous-station sera pourvue d'un groupe de transformateurs spéciaux ramenant la tension initiale à 500 volts.

On compte déjà de nombreuses installations particulières, où l'énergie électrique sera utilisée sous diverses formes. Le théâtre de la ville particulièrement sera complètement éclairé à l'électricité ; dans les sous-sols seront installés plusieurs transformateurs à courant continu pour la charge d'une batterie d'accumulateurs, ainsi que deux petits moteurs pour actionner des pompes servant à l'élévation d'eau répandue ensuite en cascades.

Montmorency (Canada). — Utilisation des chutes d'eau. — Le succès qu'a obtenu l'entreprise colossale de l'utilisation des fameuses chutes du Niagara a suscité une émulation active en Amérique ; de toutes parts on cherche à utiliser les chutes ou torrents qui ne le seraient peut être pas encore sans l'impulsion qu'a donnée l'importante et hardie entreprise du Niagara. Les installations hydrauliques qui viennent d'être terminées et qui utilisent l'énergie produite par les chutes de la rivière de Montmorency, sont intéressantes à signaler non seulement au point de vue du matériel hydraulique mais aussi des perfectionnements et modifications qui ont été apportées dans la construction des générateurs d'énergie électrique, la distribution du courant, etc. Avant d'entrer dans les détails de l'installation, il importe de dire quelques mots sur les chutes en question et sur les installations antérieures.

La rivière de Montmorency dont le lit est à une altitude considérable, forme à environ 12 km de la ville historique de Québec, en arrivant à l'extrémité d'un plateau à pente abrupte, des cataractes

qui sans avoir l'étendue de celle du Niagara n'en sont pas moins importantes. L'eau, tombe d'une hauteur de près de 83 mètres sur des rochers, et forme des tourbillons impétueux qui se déroulent dans les ravins et vont, pour la plupart, se jeter dans le St-Laurent.

Il y a quelques années seulement une compagnie, organisée à Québec, faisait construire un barrage sur une des gorges les plus étroites de la rivière à environ 450 mètres en amont des chutes, dans le but d'utiser l'énergie hydraulique pour des besoins industriels. Peu de temps après, une petite station électrique fut construite et sert actuellement à éclairer la ville de Québec avec des lampes à arc. En 1889, la Montmorency Electric Power Company adjoignait à la station à arcs un groupe générateur d'une capacité de 100 chevaux, produisant du courant alternatif à 2 000 volts qui était transmis à Québec avec une perte de 50 pour 100 et utilisé par des lampes à incandescence. Ce n'est guère qu'en 1894 que la même compagnie, d'après les conseils des ingénieurs expérimentés, fit commencer l'étude des travaux qui viennent d'être réalisés.

D'après les plans conçus par MM. Frank Badger et L. Burran, l'ancienne digue a été agrandie de manière à pouvoir utiliser un minimum de 12 000 chevaux. L'eau est dérivée du barrage par un canal creusé dans le roc qui, longeant le plateau, vient aboutir dans un réservoir se trouvant à la même altitude que les chutes. De ce point l'eau est amenée à la station hydraulique située au bas de la colline au moyen d'une canalisation formée de tubes d'acier rivés, de 1, 80 m de diamètre, et d'une longueur totale de 330 m. Cette conduite, dont l'inclinaison est très grande, vient déboucher dans un immense réservoir en acier d'où les turbines reçoivent l'eau nécessaire à leur fonctionnement.

La station génératrice est située entre le plateau et la ligne de chemin de fer de Québec-Montmorency-Charlevoix ; elle possède deux étages ; les turbines et les appareils de manœuvre des vannes occupent le rez-de-chaussée. En raison de la grande hauteur de la chute et de la grande vitesse de rotation qui doit nécessairement être imprimée aux générateurs hydrauliques, on a été conduit à adapter un genre de turbines d'un système spécial. Le type adopté est celui dit « Little Giant », modèle très peu connu au dehors du Canada, mais qui permet d'obtenir, pour un diamètre de roues d'aubes de 0,52 m et une hauteur de 0,60 m, une puissance utile de 700 chevaux avec une vitesse de 600 tours par minute. Ces turbines sont constituées par deux séries de godets montés à la périphérie d'un volant relié à l'axe central ; ces godets sont disposés de façon à ce que l'effort qu'éprouve une des séries soit contre-balancé par l'autre.

Les générateurs électriques, installés au premier étage, sont actionnés par des courroies traversant le plafond sous un angle de 45°.

L'eau utilisée par les turbines est en partie conduite par une canalisation à un moulin à coton où elle est une seconde fois utilisée ; le reste est rejeté au St-Laurent par un canal de fuite.

Après de sérieuses études sur les avantages et inconvénients des différents systèmes de transmission, la Montmorency Power Company a fait choix des courants alternatifs polyphasés, de préférence aux courants alternatifs monophasés qui ont été adoptés par la plupart de grandes entreprises. Les avantages de ces derniers, relativement à la simplicité de production et de distribution sont bien connus des électriciens ainsi que la facilité avec laquelle ils se prêtent aux transmissions en bloc de grande quantité d'énergie, mais ils manquent de souplesse pour une extension ultérieure et exigent des moteurs difficiles à réaliser ; de plus, les courants monophasés ont l'inconvénient de ne pouvoir être directement transformés en courants continus pour l'utilisation par les moteurs des tramways électriques ou pour les travaux électrolytiques.

Les générateurs employés sont du type S. K. C. (Stanley-Kelly-Chesney) à courants biphasés. Les fondations de chaque générateur sont constituées par un béton solide dans lequel on a scellé des croisillons qui maintiennent un matelas isolant formé de pièces de bois assemblées après avoir été, au préalable, trempées dans un bain de parafine bouillante pour en chasser toute trace d'humidité.

Les alternateurs S.K.C du type à inducteur mobile produisent, à la vitesse de 286 tours par minute, 5 700 volts, 100 ampères. L'armature de ces machines est fixe ; elle est formée de deux anneaux en fer laminé réunis par des tiges d'acier de 0,10 m de section. Chacun des anneaux porte à la périphérie 28 évidements dans lesquels sont logées les bobines de l'armature. Le poids total de cette portion de machine est de 19 288 kilogrammes.

Le champ magnétique est circulaire ; il est constitué par deux bobines de 2,37 m de diamètre sur lesquelles est enroulé un ruban de cuivre nu dont

chaque couche est isolée l'une de l'autre par l'interposition d'une toile huilée isolante, pratiquement indestructible au-dessous d'une température de 150° C.

Toutes les bobines furent éprouvées, avant leur mise en place, pour un isolement correspondant à 15 000 volts, et toutes montées, l'ensemble a été soumis à une épreuve d'isolement correspondant à 12 000 volts.

L'inducteur, la seule partie mobile de la machine, est un volant en acier coulé à la périphérie duquel sont fixées deux séries de 14 projections polaires en fer laminé. Le poids de l'inducteur est de 12 896 kg et le poids total du générateur, de 45 300 kilog.

Les alternateurs déjà installés et en fonctionnement sont au nombre de trois ; leur fréquence est 66, soit 8 000 alternances par minute. Il avait été question de prendre une fréquence double, mais à cause des pertes dans les transformateurs, dans la régulation des moteurs et dans la transmission, une plus basse fréquence a été jugée préférable, au point de vue économique.

Un détail important caractérise l'installation électrique de la station, c'est que le système a été étudié pour fonctionner en parallèle.

Les alternateurs ont donné aux épreuves :

Pertes maxima dans le champ magnétique	4 000 watts
» dans l'armature de fer, enroulements, frictions	20 000 »
» dans l'armature de cuivre	7 000 »

Des chiffres précédents, on calcule que le rendement est de :

Pleine charge	95,1 pour 100
Demi charge	92,3 »
Quart de charge	87,0 »

La température, pour une marche de 24 heures, s'est élevée comme il suit :

Enroulement du champ	12° C
Fer de l'armature	21° »
» inducteur	7° »
Enroulement de l'armature	26° »
Paliers	21° »

La régulation, c'est à dire la variation de la f. é. m. entre une charge nulle et la pleine charge, était, pour une même vitesse et un même champ d'excitation, de 3 1/2 pour 100. Avec la charge complète sur une phase et charge nulle sur l'autre, la différence de la f. é. m. était également de 3 1/2 pour 100.

Le courant d'excitation des alternateurs est fourni par deux dynamos à courant continu tournant à faible vitesse, et ayant une puissance individuelle de 12 kilowatts. Une seule de ces machines suffit à l'excitation des trois générateurs.

La totalité du courant est contrôlée par les appareils groupés sur un tableau de distribution partagé en trois sections formées chacune de trois panneaux en marbre dont le premier porte les commutateurs de deux rhéostats disposés derrière le panneau, servant à la régulation du champ des alternateurs.

Le deuxième est muni de 4 commutateurs à coupe-circuit magnétique dont deux pour chaque alternateur et, respectivement, un pour chaque phase. Ces commutateurs ne sont jamais ouverts sous charge excepté en cas de grande nécessité. Quand on veut supprimer un des générateurs du circuit, on transmet la charge du générateur sur celui avec lequel il est en parallèle en fermant graduellement la vanne d'admission de sa turbine ; ensuite le commutateur peut être ouvert sans difficulté. Si les générateurs fonctionnent indépendamment, la charge de celui que l'on veut supprimer est transmise à la sous-station avant d'ouvrir le commutateur. Sur le troisième panneau sont groupés 4 ampère mètres, dont deux pour chaque ligne de transmission, et 4 voltmètres reliés à 4 transformateurs de haut potentiel disposés à l'arrière du panneau.

La section de droite du tableau est exactement semblable à celle de gauche, à l'exception que les appareils qu'il comporte sont dédoublés puisqu'ils ne servent qu'à un seul générateur.

Le panneau inférieur de la section médiane porte trois commutateurs à 4 pôles servant, ainsi que deux lampes, à synchroniser les générateurs en parallèle. Le panneau du milieu est exclusivement réservé aux excitatrices ; il comporte les appareils nécessaires pour en opérer le couplage ou à exciter les alternateurs séparément.

Sur le panneau supérieur sont groupés trois ampère-mètres à courant continu servant à mesurer l'intensité dans le champ des alternateurs, et enfin quatre voltmètres à transformateurs relies au circuit de 2000 volts, venant de la sous-station.

A sa sortie du tableau de contrôle, le courant est dirigé à Québec par deux lignes aériennes séparées. L'une passant par la route Montmorency-Charlevoix-Québec comprend deux circuits pouvant transporter 500 kilowatts chacun ; l'autre

suit la route du vieux Beauport et ne possède qu'un circuit de même capacité que les précédents. Les câbles sont supportés par des poteaux en bois à l'exception de la traversée de la rivière Charles où ils sont supportés par des pylônes métalliques de 37 m de haut. Des paratonnerres et des conducteurs de mise à la terre ont été installés en différents points de la ligne pour la protéger de la foudre. La perte en ligne due à la résistance ohmique des conducteurs et à la self-induction est de 10 pour 100.

A Québec, les lignes viennent aboutir à la sous-station située dans le quartier St Rochs, qui est le véritable centre industriel de la ville. L'équipement de cette sous-station comprend deux séries de 8 transformateurs. Chacun de ces derniers a une puissance de 50 kw et ramène la tension à 1 000 volts; il sont mis en série par paire pour fournir la tension de 2000 volts qui est celle employée dans le réseau de distribution. Cette disposition permet de sauvegarder l'enroulement de l'un des transformateurs s'il venait à chauffer outre mesure, en rejetant momentanément la charge sur l'autre pour permettre de coupler à sa place un des transformateurs réservés pour cet usage. L'isolement de chacun des transformateurs est éprouvé à 10 000 volts. Le rendement moyen des deux groupes de transformation est de :

Pleine charge	97,8 pour 100
Demi charge	97,9 » »
Quart de charge	97,0 » »

Le tableau de distribution comporte tous les appareils employés avec des courants de haute tension; une partie de ces appareils est affectée au courant venant de la station génératrice et qui est distribué aux transformateurs; la seconde partie des appareils, sert à la distribution du courant sur le réseau de la ville, où il est utilisé pour la force motrice seulement. On compte de nombreuses installations de moteurs électriques, dans les tanneries, fabriques de chaussures, machines-outils et une foule d'autres qu'il serait trop long d'énumérer.

Si on ajoute que l'on a prévu dans cette entreprise des agrandissements considérables aux installations actuelles on peut compter la station de Montmorency parmi les plus importantes transmissions d'énergie utilisant les chutes d'eau en Amérique.

Scott Haven (Pa. Amérique). — Transport de force. — Parmi les nombreuses mines américaines qui ont adopté l'énergie électrique comme force motrice, on cite celles de Scott Haven dont le matériel d'exploitation est entièrement mû par l'électricité.

La station génératrice comprend 3 moteurs à vapeur actionnant, au moyen d'une transmission par courroie, 3 alternateurs à 4 pôles, donnant 500 volts et 100 kw avec une vitesse angulaire de 650 tours par minute.

Le courant produit par les générateurs est amené au tableau de distribution par des câbles logés sous le sol et supportés par des isolateurs triples fixés dans un caniveau. Le tableau est divisé en deux parties; une comportant 3 coupe-circuits automatiques, 3 ampèremètres Weston à cadran, un voltmètre en dérivation sur les trois circuits, et enfin 3 commutateurs bipolaires et 3 rhéostats servant au réglage du champ des alternateurs; l'autre partie du tableau est affectée aux appareils servant à répartir le courant dans le réseau. Ce dernier se compose de deux circuits dont l'un, avec retour par la terre, sert à actionner les treuils et à la traction des bennes; l'autre avec conducteur de retour, actionne les moteurs des ventilateurs, pompes et machines-outils servant à l'extraction du charbon dans les nombreuses galeries de ces mines. Le transport du charbon à la surface du sol, est effectué par une locomotive électique à trôlet desservant les quatres puits.

Seneca Falls (Amérique). — Station centrale. — L'emploi des courants polyphasés paraît devenir beaucoup en faveur en Amérique.

La station hydraulique utilisant les eaux d'une chute à Seneca, près Waterloo, vient d'avoir son matériel augmenté par l'adjonction de nouveaux groupes générateurs qui sont installés, l'un avec sa turbine à Seneca et l'autre à la station de Waterloo. Ces deux nouvelles machines sont des alternateurs à courants triphasés de 1000 kw à 2300 volts.

L'énergie électrique fournie par les deux stations est utilisée dans le réseau de Waterloo. Cette ville possédait un système Edison à trois fils qui était alimenté par un transformateur à courant continu de 500 volts auquel la station de Seneca fournissait du courant de même nature, à la tension de 1000 volts pour l'éclairage à arc de la ville.

La combinaison d'un réseau alimenté par des courants triphasés produits à deux points distants l'un de l'autre d'environ 5 km, a donné d'excellents résultats. Les moteurs et les lampes qui uti-

lisent le courant fonctionnent d'une façon satisfaisante.

Les deux stations ont été également pourvues de moteurs à vapeur destinés à suppléer les turbines pendant les basses eaux.

CHAMBRE SYNDICALE DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Séance du 7 Juillet 1896

La séance est ouverte à 5 h. 1/4 sous la Présidence de M. F. Meyer.

Membres présents :

MM. Bancelin, Bénard, Berne, Cance, Clémançon, Harlé, Hillairet, Meyer, Picou, Sartiaux, Triquet.

Excusé : M. Mildé.

Sont admis comme Membres adhérents :

M. Meyer (Marcel), Ingénieur de la Compagnie Générale des Travaux d'Éclairage et de Force par l'Électricité, 23, rue Lamartine, présenté par MM Clémançon et Meyer ;

M. Lecornu (Joseph-Louis), Directeur de la Société Régionale d'Électricité, Promenade du Fort, à Caen, présenté par MM. Triquet et Meyer ;

M. Blanc, Ingénieur-Électricien, 10, rue Daubigny, présenté par MM. Sciama et Azaria.

La Chambre Syndicale des Ouvriers Électriciens dont le Siège Social est à la Bourse du travail, se met à la disposition des Maisons d'Électricité pour lui fournir des ouvriers en cas de besoin.

M. Mamy, Directeur de l'Association contre les Accidents du travail, remercie la Chambre Syndicale et en particulier son ancien Président, M. Harlé, du concours prêté à la Commission chargée d'établir une instruction pour prévenir les accidents dans les Usines qui emploient l'électricité.

Le Président informe la Chambre Syndicale que le Comité Central d'Électricité institué l'an dernier auprès du Ministère du Commerce, par application de la loi du 25 Juin 1895, devait être renouvelé partiellement dès le mois de Juillet 1896. Les opérations de ce Comité étant à peine commencées, il a semblé qu'on trouverait plus d'inconvénients que d'avantages à en modifier la composition dès à présent, et des démarches ont été faites auprès de l'administration des Postes et Télégraphes pour obtenir que, cette année du moins, les membres sortants du Comité fussent exceptionnellement renommés.

Le Ministère du Commerce appelle l'attention des électriciens français sur l'Exposition qui s'ouvrira à Bruxelles en 1897, et à laquelle le gouvernement belge nous convie à prendre part.

La révision triennale des listes électorales pour les Conseils de Prud'hommes aura lieu du 1er au 30 Juillet. Cette révision n'ayant lieu que tous les trois ans, la Chambre décide qu'une note spéciale sera annexée au procès-verbal pour rappeler à nos adhérents l'importance que présente l'inscription des électeurs spéciaux.

Le Président rend compte de l'enquête à laquelle il a procédé au sujet des commandes de matériel faites à l'étranger par la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône. Après la discussion, à laquelle prennent part MM. Clémançon, Picou, Hillairet et Harlé, il est décidé qu'une démarche sera faite auprès du Ministère des Travaux Publics pour signaler le fait et demander que l'industrie française reçoive, dans les concessions d'utilité publique, les encouragements auxquels elle a droit.

Le Président signale la formation d'un groupe syndical nouveau, celui des Usines d'Électricité. Il a reçu la visite du Bureau composé de MM. Herbaut, président, Fontaine, secrétaire général et Azaria. La nouvelle association a exprimé le désir de s'entendre avec nous pour les questions qui intéressent l'ensemble des professions électriques, et la Chambre Syndicale espère que tous les groupements qui s'occupent de faire prospérer notre industrie marcheront d'accord pour réaliser ce but en commun.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS DE GENÈVE

Programme abrégé de l'excursion projetée en Suisse pour visiter les principales installations électriques.

L'excursion aura une durée de 6 jours ; elle s'ouvrira le lundi 10 août au matin et sera terminée le samedi 15 août au soir.

Voici l'itinéraire sommaire de cette excursion :

Premier jour. — Départ de Genève à 7 heures. — Arrêt à Lausanne (visite des installations du tramway). — Arrêt à Fribourg. Visite des installations électriques (courant continu 2 × 150 volts) et hydrauliques de l'Administration des Eaux et Forêts et des chemins de fer du Jura-Simplon (charge des accumulateurs d'éclairage des trains).

— Arrivée le soir à Neuchâtel, en passant par Morat et le lac de Neuchâtel.

Second jour. — Excursion à Noiraigue pour la visite des installations électriques et hydrauliques du Val-de-Travers (système série 750 chevaux — 65 ampères — 7 200 volts). Visite de l'usine élévatoire de la Chaux-de-Fonds, au Champ-du-Moulin. Visite de l'usine de Combe-Garrot desservant la Chaux-de-Fonds et le Locle (système en série 3 200 chevaux — 150 ampères — 14 400 volts). — Visite de l'usine de la ville de Neuchâtel (courant uni et triphasé 1 500 chevaux — 4 000 volts). — Départ pour Berne.

Troisième jour. — Visite des installations municipales de Berne (courant continu — 2 $\times$ 110 volts). — Départ pour Langenthal. — Visite de l'usine de Wynau (2 000 chevaux — courant triphasé). — Arrivée à Aarau.

Quatrième jour. — Visite des installations électriques d'Aarau (courant biphasé et courant continu). — Départ pour Bremgarten. — Visite de l'usine de Zufikon, alimentant des industriels de Zurich (1 500 chevaux — courant triphasé — 5 000 volts). — Arrivée à Lucerne. — Visite des installations électriques de Thorenberg (courant alternatif).

Cinquième jour. — Course sur le lac des Quatre-Cantons, en bateau spécial. — Excursion au Stanserhorn (altitude 1 900 mètres), par chemin de fer funiculaire à commande électrique (courant continu — dérivation — 1 600 volts). — Visite de l'usine de Rathausen (courant biphasé). — Arrivée à Zurich.

Sixième jour. — Visite des installations électriques de la ville et des environs : Œrlikon, Baden etc.

Clôture officiellede l'excursion.

Conditions générales de l'excursion en Suisse, du 10 au 15 août 1896.

L'organisation matérielle de l'excursion a été confiée, par le Comité d'organisation du Congrès, à l'Agence de transport de MM. Ruffieux et Ruchonnet, à Lausanne, qui en assurera le service conformément au programme détaillé ci-après :

Coût de l'excursion. — Le prix du billet d'excursion, donnant droit *à toutes les prestations mentionnées* dans ce programme, est fixé à forfait à la somme de 130 à 140 francs, suivant le nombre des participants.

En s'inscrivant, Messieurs les participants verseront un acompte de 25 francs, qui ne seront pas restitués au cas où le voyageur ne participerait pas au voyage, ou ne se ferait pas remplacer. — Le solde du coût du billet sera encaissé au cours du voyage.

Inscriptions pour le voyage. — Les inscriptions seront reçues à Genève, au bureau du Congrès, par MM Ruffieux et Ruchonnet, les 5, 6 et 8 août, de 8 à 10 heures du matin.

Vu la nécessité impérieuse d'arrêter *à temps* les logements nécessaires et les moyens de transport, la liste des participants sera définitivement close le samedi 8 août, à 7 heures du soir.

Contre paiement de l'acompte, prévu de 25 fr, chaque participant recevra :

a) Une carte de légitimation, soit billet d'excursion ;

b) Un programme de l'excursion ;

c) Les étiquettes nécessaires à son bagage.

Transports. — Les participants ont droit au transport en IIe classe de chemin de fer, en Ire classe de bateau et en voiture ou bræck pour certains parcours sur routes.

La plupart du temps, les Compagnies de chemins de fer mettront des voitures spéciales à la disposition des participants à l'excursion.

Bagages. — Pour une excursion de six jours, il paraît inutile d'emporter avec soi autre chose qu'une valise de 10 à 15 kilos au plus. Cette valise sera remise à l'Agence le matin du départ, à Genève, et transportée, dès lors, gratis par ses soins, d'étape en étape.

Messieurs les participants n'auront qu'à laisser leur valise, chaque matin, dans leur chambre ; ils la retrouveront à leur logement du soir.

Les colis plus lourds ou *malles* pourront être expédiés de Genève à Lucerne ou à Zurich, directement, par les soins de l'Agence, mais aux frais de leurs propriétaires.

Logements. — Les logements nécessaires seront retenus et fournis par l'Agence, dans de bons Hôtels ; ils se composeront de chambres confortables à un ou deux lits.

Dans certaines localités où il serait impossible d'en obtenir en suffisance, il faut admettre, éventuellement, la nécessité d'occuper des chambres à trois ou quatre lits.

Messieurs les participants qui tiendraient à s'assurer, pendant tout le voyage, la garantie d'une bonne chambre *à un seul lit*, auraient à payer un supplément de 10 francs.

L'éclairage et le service sont compris dans les prestations de l'Agence.

Messieurs les participants voudront bien indiquer, en s'inscrivant, avec qui ils désirent, éventuellement, occuper une chambre en commun.

Repas. — Premier déjeuner : Thé, café ou chocolat, avec beurre, miel, etc.

Lunch : Hors d'œuvres, deux services et dessert.

Dîner : Potage, trois services et dessert.

Au lunch et au dîner, au choix : Une demi-bouteille de vin ou de bière, thé ou lait.

Les extras étant à la charge des voyageurs, ces derniers voudront bien les payer au comptant à leur Hôtel.

A l'exception des repas indiqués comme *pris en commun par toute la Société*, Messieurs les participants prendront leurs repas dans l'Hôtel ou ils logent.

Remboursements. — En cas d'empêchement de suivre tout ou partie du voyage, pour une cause quelconque non imputable à l'Agence, celle-ci sera tenue de rembourser au voyageur empêché une indemnité de 10 francs par journée manquée.

Parcours partiels. — L'Agence offre, moyennant paiement d'un prix proportionnellement réduit, la faculté à toute personne agréée par le Comité, de se joindre au voyage pour un ou plusieurs jours.

Postes et Télégraphes. — Pour éviter tout fourvoiement de lettres ou télégrammes, Messieurs les participants à l'excursion pourront se faire adresser toute leur correspondance : « Aux soins de l'Agence Ruffieux et Ruchonnet, à Lausanne. »

L'Agence fera rapidement suivre cette correspondance à l'endroit voulu, et le personnel accompagnant l'excursion en assurera la distribution, en cours de route.

Insigne. — MM. les participants voudront bien porter ostensiblement leur insigne de membre du Congrès des Electriciens pendant tout le voyage, afin de simplifier le contrôle des employés de chemin de fer et de bateau.

La présentation du billet d'excursion dans les trains et dans les hôtels justifiera en outre la qualité de participant à l'excursion.

Divers. — M. Ruffieux accompagnera l'excursion avec le personnel nécessaire pour en assurer le service.

Dans l'intérêt de la réussite du voyage, Messieurs les participants voudront bien se conformer aux instructions de route, telles qu'elles seront arrêtées d'un commun accord entre le Comité et l'Agence. — En cas de contestation ou de réclamation sur des cas non prévus dans le présent programme, l'Agence s'en remet d'avance à la décision du Comité de l'Association Suisse des Électriciens.

DIVERS

Inauguration de la statue de Benjamin Franklin à Chicago. — Une magnifique statue en bronze de Benjamin Franklin à été récemment offerte aux imprimeurs de Chicago par Joseph Medill, éditeur de la « Tribune » de Chicago. Cette statue a été érigée dans le Lincoln Park et solennellement inaugurée par Réné Bach, de Philadelphie, qui est l'arrière petit-fils de Franklin. Environ 3000 personnes assistaient à la cérémonie. Plusieurs discours furent prononcés. La statue qui est l'œuvre de R. H. Park, un des plus habiles sculpteurs de Chicago, a 2,70 mètres de haut et repose sur un piedestal de granit qui l'élève à 3,60 mètres du sol.

L'électricité en chirurgie. — L'électricité ~~qui,~~ comme on le sait, a reçu de nombreuses applications dans l'art médical et chirurgical vient d'en recevoir une nouvelle dans ce dernier par l'instrument imaginé récemment par M. Lawson Tait de Londres appelé hémostat électrique. Cet appareil est, comme son nom l'indique, destiné à arrêter l'hémorragie dans les opérations chirurgicales. Il se compose d'une pince ordinaire dans les lames de laquelle est logé un fil de platine isolé par de la terre de pipe. On lance un courant d'un voltage convenable dans le fil de platine ; ensuite on saisit avec cette pince l'artère que l'on presse entre les deux lames et en quelques secondes les tissus des deux parois de l'artère s'agglutinent ensemble à un tel point que l'hémorragie est rendue impossible. La température employée n'est que de 100° centigrades environ, de sorte que le principe de cet instrument diffère de celui des cautères électriques. L'hémostat électrique de M. Tait évite la nécessité des ligatures et constitue pour les chirurgiens un appareil simple et pratique pour le traitement des épanchements sanguins externes.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie Em. Mauchaussat, 32, Boul. Vaugirard.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

LA DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A LYON

PAR LA

SOCIÉTÉ LYONNAISE DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE [1].

PROJET DÉFINITIF

Les bases générales du projet de concours comportaient l'utilisation d'une tension primaire de 5 000 volts. En l'état actuel de l'industrie des câbles l'emploi d'une tension aussi élevée présentait quelque aléa : on aurait dû en effet avoir recours au caoutchouc pour assurer un isolement suffisant : or cette matière est sujette à des modifications lentes dont on ne pouvait prévoir l'influence sur sa résistivité. Le réseau de Lyon étant complètement souterrain on a jugé prudent de réduire la tension à 3 500 volts, ce qui permet d'employer des câbles isolés au papier.

On a modifié également le nombre des unités primitivement prévues. Au lieu de 20 unités de 1 000 chevaux, on a adopté 16 unités de 1 250.

Les alternateurs seront scellés directement au sol de l'usine sans interposition d'aucun isolant. Les conditions imposées par le cahier des charges, rendaient superflu tout dispositif de ce genre. On a pu également supprimer l'isolement du manchon d'accouplement. On a réalisé ainsi un ensemble présentant un caractère plus mécanique et plus robuste. Les alternateurs seront excités par un groupe de 3 excitatrices (dont une de secours) ayant chacune une puissance de 170 kw.

Les turbines des excitatrices sont, comme celles des alternateurs, à arbre vertical : elles sont également directement accouplées à l'aide de manchons rigides aux machines qu'elles commandent.

Les turbines des alternateurs tourneront à 120 tours à la minute : les turbines des excitatrices à 250 tours.

Le système adopté est le triphasé avec 50 périodes à la seconde.

La tension de 3500 volts sera engendrée directement dans les induits. Les excitatrices fonctionneront à 120 volts : elles seront munies de volants destinés à faciliter le réglage de leurs turbines : pour les alternateurs le moment d'inertie de la partie mobile étant suffisant l'on a pas eu à recourir à l'adjonction d'un volant. Si l'on compare entre elles les solutions adoptées par la Société Lyonnaise des forces motrices du Rhône et par la Compagnie des chutes du Niagara on remarque, dans leurs principes mêmes certaines différences caractéristiques :

La fréquence adoptée au Niagara n'est que de 25 périodes ; elle ne permet pas d'alimenter directement des lampes normales de 110 volts, car de telles lampes ne possèdent pas un « volant de lumière » assez puissant pour masquer les variations d'intensité. Elle exige de plus des transformateurs plus encombrants et plus couteux. Elle présente, par contre,

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, du 2 mai, p. 193 et 200.

quelque simplification dans la construction des moteurs ; pour une vitesse déterminée le nombre de pôles de l'inducteur est moitié moindre. Toutefois cet avantage ne peut être pris en considération que lorsqu'il s'agit de moteurs de faible puissance car les dimensions des moteurs de puissance supérieure sont toujours suffisantes pour permettre d'augmenter le nombre de pôles sans difficulté pour le bobinage. Si d'autre part on remarque que la fréquence de 50 périodes permet d'obtenir avec un bobinage inducteur ne comportant que 4 pôles seulement une vitesse de 1 500 tours, on est conduit à reconnaître que cette fréquence est parfaitement compatible avec les exigences de la construction. En pratique les fréquences de 40 à 50 périodes sont d'ailleurs couramment employées sans aucune difficulté à des transports d'énergie comportant des moteurs de toutes puissances depuis les petits moteurs pour métiers qui n'absorbent que 10 kg jusqu'aux plus gros moteurs employés dans l'industrie.

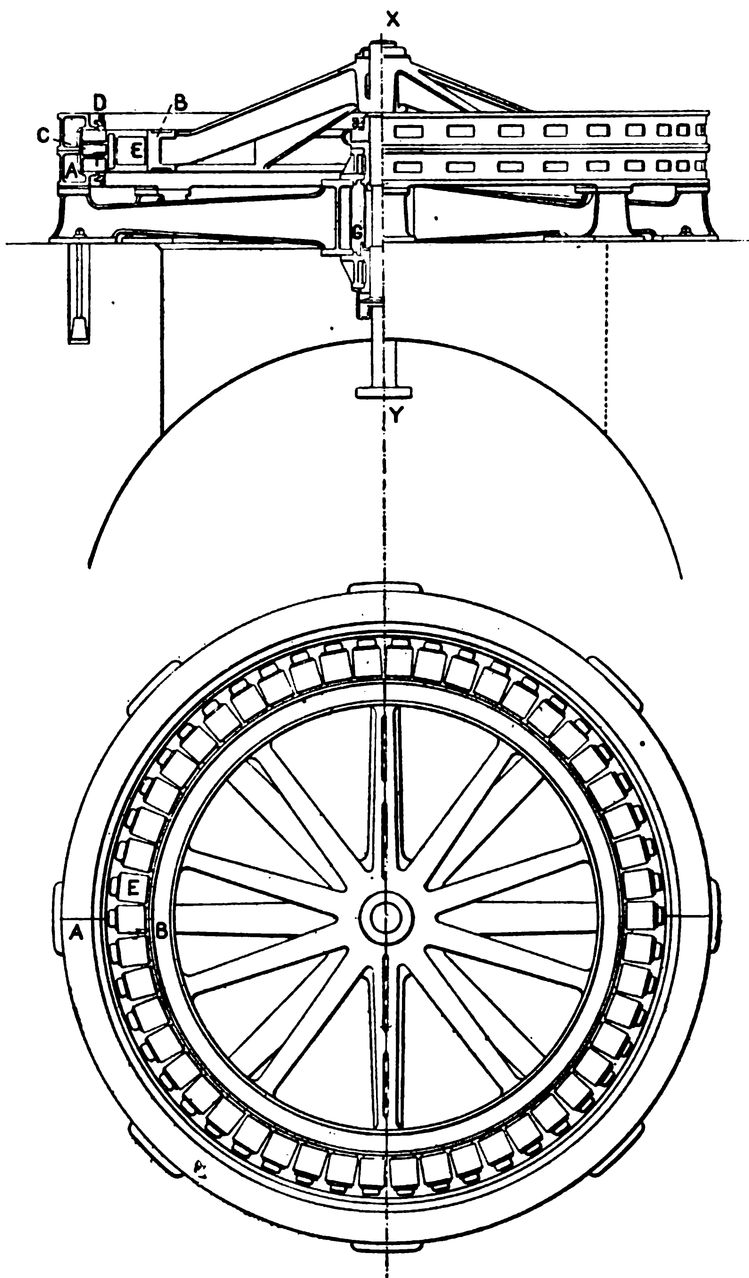


Fig. 1 et 2. — Coupe et vue en plan d'un alternateur.

Avec 50 périodes à la seconde, le fonctionnement des lampes à arc et à incandescence est très régulier; aucune variation d'intensité n'est sensible.

On sera contraint à installer aux chutes du Niagara, des machines spéciales à fréquence plus élevée, (d'ailleurs prévues dans les projets) pour assurer le service d'éclairage.

Cette distinction de deux services était admissible au Niagara étant donné le développement ultérieur que peut acquérir cette station exceptionnelle.

La station de Cusset pourra desservir indifféremment des moteurs ou des lampes avec un seul groupe de machines toutes identiques entre elles.

Le réseau primaire de la Compagnie du Niagara étant aérien ou, ce qui revient au

même, établi dans les mêmes conditions qu'une ligne aérienne à l'intérieur de canaux

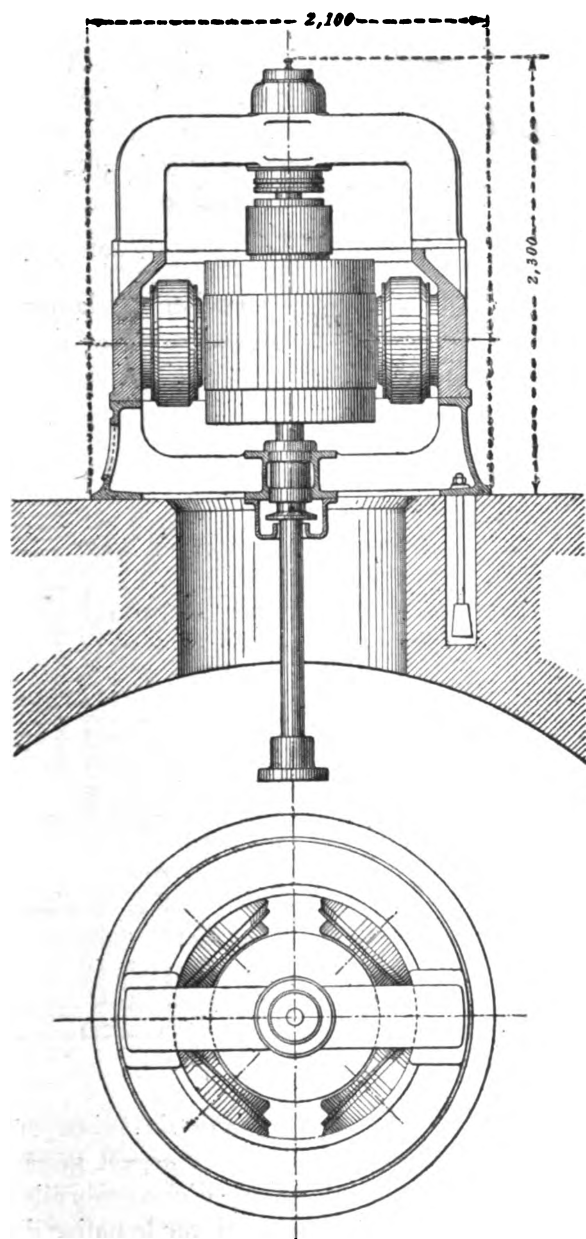


Fig. 3 et 4. — Coupe et vue en plan d'une excitatrice

de grandes dimensions, on a pu adopter une tension de ligne assez élevée. Il y a lieu toutefois de remarquer que cette tension de ligne (20 000 volts) n'est obtenue qu'à l'aide d'une première transformation de la tension fournie par les machines qui n'est que de 2 400 volts. Les alternateurs ne présentent donc pas, à ce point de vue de particularité remarquable. Ils ne diffèrent en principe des machines de Cusset que par la disposition relative de l'inducteur et de l'induit. Au Niagara, les inducteurs sont à l'extérieur de l'induit, à Cusset, ils sont à l'intérieur.

Cette divergence tient à la différence des vitesses des turbines qui sont respectivement de 250 et 120 tours ; si l'on remarque, d'autre part, que les unités du Niagara sont de 5 000 chevaux tandis que celles de Cusset ne sont que de 1 250, on conçoit qu'il a fallu prendre à l'usine américaine des précautions spéciales pour parer aux effets de la force centrifuge.

L'anneau de fer à l'intérieur duquel sont montées les bobines inductrices joue le rôle d'un frettage puissant et, de plus, l'attraction exercée entre les pôles inducteurs et la masse de l'induit se trouve opposée à l'action de la force centrifuge. Cette disposition comporte, par contre, quelques inconvénients : l'inducteur n'est relié à l'arbre qu'à sa partie supérieure ce qui présente un caractère peu mécanique ; la ventilation de l'induit est moins bonne ; enfin il devient nécessaire pour visiter l'induit de soulever complètement la cloche inductrice.

La station du Niagara a été pourvue provisoirement de 3 machines de 5 000 chevaux, soit 15 000 chevaux. On installera tout d'abord à Cusset 8 alternateurs de 1 250 chevaux, soit 10 000 chevaux. Néanmoins l'aspect de la station lyonnaise sera beaucoup plus imposant que celui de la station américaine. Tandis que les machines du Niagara n'ont que 4 m de diamètre environ, chaque machine de Cusset atteindra 6 m.

Il est vrai d'ajouter que les machines du Niagara ont une hauteur totale de 4 m et que celles de Cusset n'auront que deux mètres environ : malgré cette remarque, il est certain que la station de Cusset quoique moins importante produira sur les visiteurs un effet plus grandiose.

Les deux stations diffèrent enfin par le principe même du système adopté ; alors qu'à

Lyon on utilisera le triphasé, on a donné la préférence au Niagara au biphasé. C'est là une question de peu d'importance au point de vue pratique, bien que le triphasé permette une économie appréciable sur le coût des canalisations et qu'il ait aussi quelques avantages pour le fonctionnement des moteurs. Nous ne nous attarderons d'ailleurs pas à une discussion technique qui pourrait se trouver déplacée dans cette description.

L'adoption du système triphasé se trouvera largement justifiée par les nombreuses applications que nous nous proposons de décrire dans cette revue.

Description du matériel électrique. — *Alternateurs.* — Comme le montrent les figures 1 et 2 chaque alternateur se compose d'une couronne extérieure fixe A portant l'induit et d'un volant B à la périphérie duquel sont fixées les bobines inductrices.

La couronne extérieure est en fonte. Elle repose sur de solides semelles également en fonte qui sont elles-mêmes scellées dans

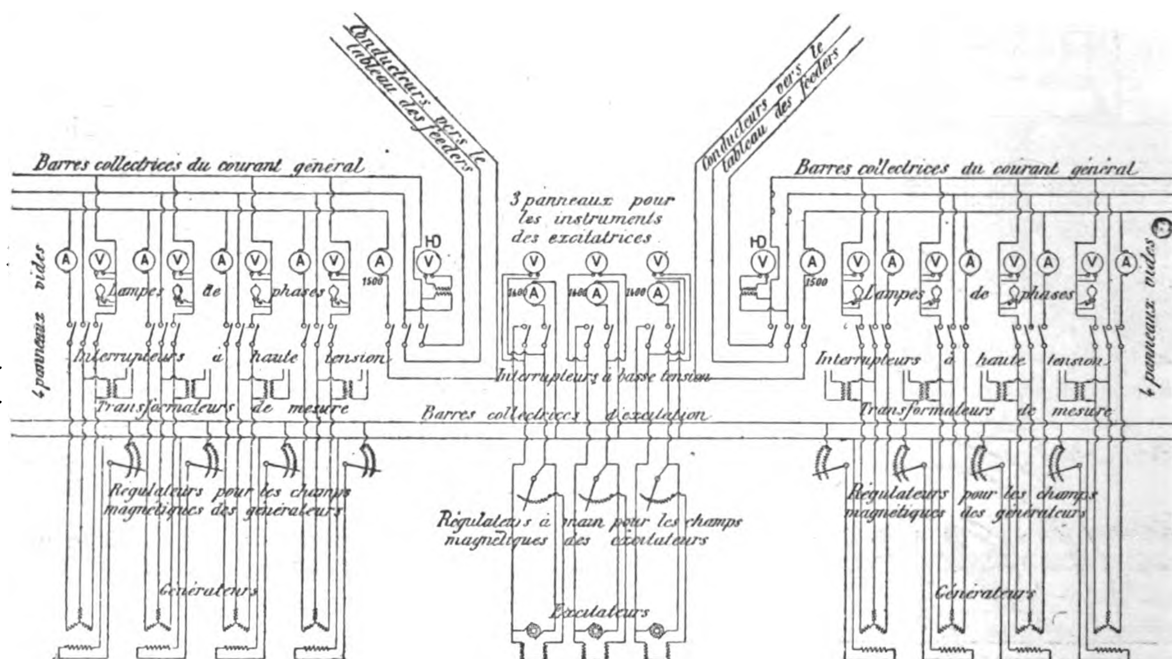


Fig. 5. — Schéma des connexions du tableau central.

e massif de béton qui constitue le sol de l'usine : ces semelles sont reliées entre elles par un ensemble de robustes croisillons qui supportent le palier de guidage G. La couronne extérieure maintient fortement serrées les tôles d'induit : on a ménagé à sa périphérie de larges évidements destinés à faciliter la ventilation : dans le même but on a superposé les tôles d'induit en trois paquets distincts entre lesquels l'air peut librement circuler par les ouvertures F. Les conducteurs de l'induit sont logés dans des trous pratiqués à la périphérie intérieure ; ils sont soigneusement isolés de la masse à l'aide de tubes en micanite. L'inducteur, dans son aspect général présente la forme typique d'une ombrelle; cette disposition permet de placer le palier de guidage au centre de gravité des pièces en mouvement.

Les inducteurs ont une section circulaire, ils sont fixés au volant à l'aide de vis de fort diamètre ; on a pris les précautions nécessaires pour rendre impossible le desserrage de ces vis sous l'influence des vibrations. Les enroulements inducteurs sont constitués par de larges rubans de cuivre contournés en hélice

de telle façon que leur plus grande dimension soit située dans la direction du rayon du noyau; les spires sont séparées par des rondelles de papier enduit de gomme laque; chaque noyau ne porte qu'une seule couche de spires.

On a préféré cette disposition à bobines inductrices multiples à celles qui dérivent du type de l'alternateur Mordey pour les raisons suivantes :

Les alternateurs à bobine inductrice uniqe, mobile avec le noyau inducteur, présentent de graves inconvénients, surtout lorsqu'il s'agit de machines de grand diamètre; par suite de l'échauffement de la bobine inductrice et de la différence des coefficients de dilatation du cuivre et de la fonte, il arrive qu'en marche la bobine ne fait plus corps avec son noyau; il en résulte des frottements entre les spires qui détériorent rapidement l'isolant.

On a cherché à éviter ces inconvénients tout en conservant la simplicité du principe. On a essayé, dans ce but de rendre fixe la bobine inductrice et de ne faire tourner que son noyau. Mais on rencontre alors malheureusement, des difficultés d'un autre ordre.

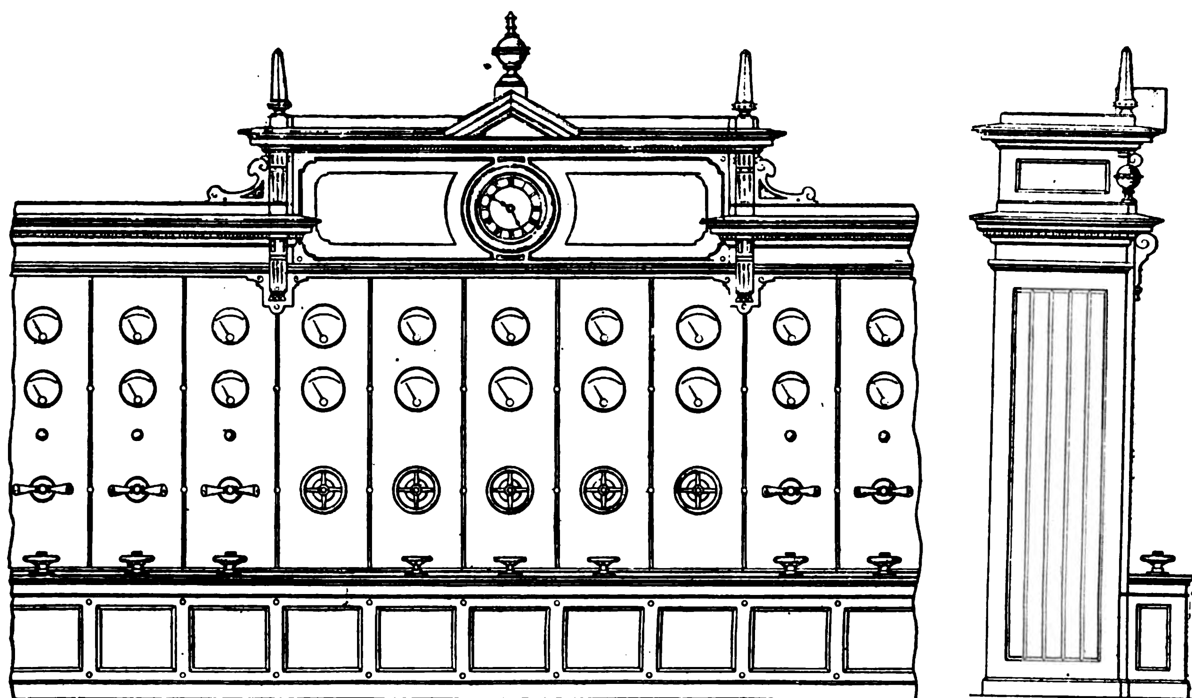


Fig. 6 et 7. — Tableau central, vue de face et vue latérale.

Si les pièces polaires de l'inducteur sont situées vis à vis les unes des autres de chaque côté de l'alternateur, on peut fixer assez facilement la bobine inductive.

Cette solution est cependant assez compliquée car elle exige deux bobinages distincts dont un sur chacune des deux moitiés de l'induit.

Si d'autre part on cherche à simplifier le bobinage de l'induit en décalant les pièces polaires situées d'un côté de l'inducteur par rapport à celles qui se trouvent de l'autre côté il devient bien difficile de fixer la bobine, car les bras d'attache doivent traverser le bobinage de l'induit. Quelle que soit la disposition adoptée ces machines sont toujours plus lourdes et plus chères que les machines à bobines multiples.

De plus, la pratique a établi que les machines de ce genre présentent en général un coefficient de dérivation magnétique élevé et que leur réaction d'induit est toujours forte. Les conditions imposées au cahier des charges

exigeaient, comme on le verra plus loin une réaction d'induit très limitée ; cette seule raison eut suffit à faire écarter le système à bobine unique. Il faut enfin remarquer que les alternateurs à bobine inductrice unique sont exposés à être mis hors service s'il s'établit une communication entre les spires inductrices et que les réparations du bobinage inducteur sont toujours assez difficiles à exécuter lorsqu'il s'agit de machines de grand diamètre. Pour les alternateurs à bobines inductrices multiples, au contraire, un défaut d'isolement entre les spires d'une bobine n'a que peu d'influence sur le fonctionnement de la machine et les réparations éventuelles s'effectuent avec une grande simplicité.

Excitatrices. — Les excitatrices sont, comme le montre les figures 3 et 4, du type à 4 pôles. Le bobinage induit est constitué par des barres de cuivre logées dans des trous pratiqués à la périphérie du noyau lamellé, et connectées entre elles et au collecteur suivant les procédés connus. Les balais sont en charbon, la carcasse magnétique en fonte et les noyaux inducteurs en fer forgé.

Conditions de réception. — Le cahier des charges imposé par la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône fixe, pour la réception du matériel électrique, les conditions suivantes :

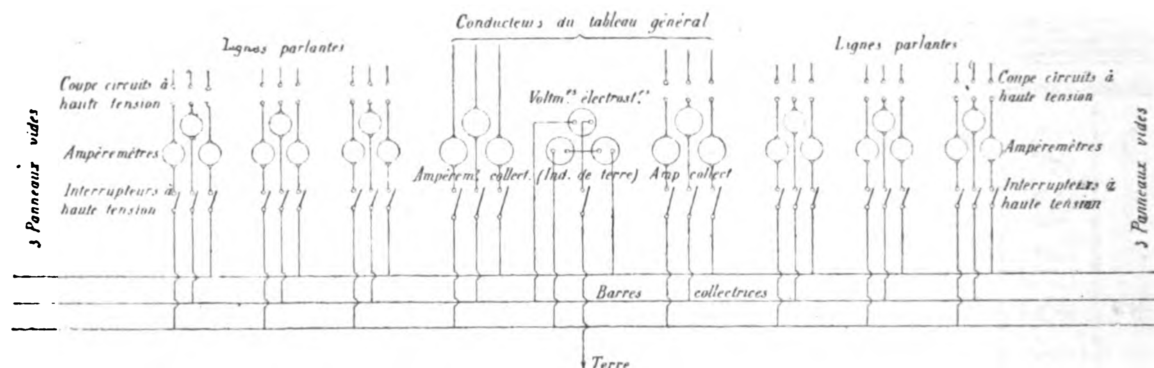


Fig. 8. — Schéma des connexions du tableau des feedeis.

Pour les alternateurs, le débit total devra pouvoir atteindre 600 ampères.

L'échauffement d'une partie quelconque des conducteurs de l'induit, mesuré par son accroissement de résistance, ne devra pas excéder 40° centigrades au-dessus de la température ambiante après six heures de fonctionnement au régime de 600 ampères.

L'échauffement des inducteurs, excités sous 120 volts, devra, de même rester inférieur à 40° au-dessus de la température ambiante.

Les essais d'isolement seront faits à 10 000 volts efficaces entre les circuits induits et la masse et à 1 000 volts entre les circuits inducteurs et la masse.

On exigera de plus, au moment de la réception définitive, que ces isolements n'aient pas varié de plus de 20 pour 100 de la valeur constatée au moment de la réception provisoire et qu'ils puissent résister à une nouvelle épreuve faite dans les mêmes conditions.

La variation totale de voltage aux bornes de l'induit (c'est à dire la perte en volts efficaces due à la résistance ohmique et à la réaction de l'induit) en passant, à excitation constante, de charge nulle à charge maxima (correspondant à un travail de 1 250 chevaux par seconde, transmis par l'arbre de la turbine) ne devra pas dépasser :

pour $\cos \varphi = 1$ 175 v.
» $\cos \varphi = 0{,}7$ 525 v.

(φ étant l'angle de décalage).

Ces déterminations seront faites après

6 heures de marche au débit total de 600 ampères.

Pour les excitatrices, après 6 heures de fonctionnement sous un débit de 1 450 ampères, la température de l'induit, mesurée par accroissement de sa résistance, ne devra pas dépasser de plus de 40° centigrades la température ambiante.

Les inducteurs devront, dans les mêmes conditions, pouvoir supporter 120 volts pendant 6 heures.

Les essais d'isolement entre les conducteurs et la masse seront faits à 1 000 volts.

De même que pour les alternateurs on exigera, au moment de la réception définitive, que ces résistances n'aient pas varié de plus de 20 pour 100 de la valeur constatée, au moment de la réception provisoire, et qu'elles puissent résister à un nouvel essai fait dans les mêmes conditions.

Le cahier des charges prévoit encore certaines conditions spéciales limitant la variation de voltage des alternateurs en cas de rupture brusque d'un des circuits ou pour des variations de charge déterminées dans deux d'entre eux.

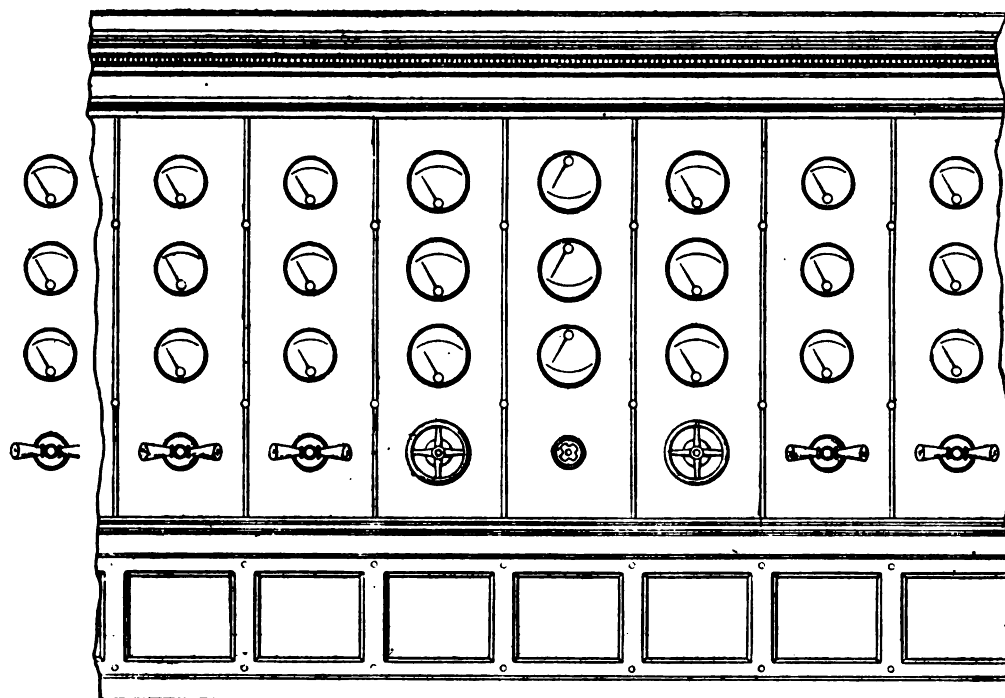


Fig. 9. — Tableau des feeders, vue de face.

Les rendements garantis sont, pour les alternateurs, de

95,2 pour 100 pour $\cos \varphi = 1$
94 » » $\cos \varphi = 0,74$,

et pour les excitatrices

94 pour 100 à pleine charge
93 » à 3/4 de charge
92 » à 1/2 »
87 » à 1/4 »

Nous étudierons en particulier, après avoir décrit le matériel hydraulique, les méthodes adoptées pour la mesure des rendements.

Tableau central et tableau des feeders. Ainsi que le montrent les figures 5 à 10, les tableaux sont d'une simplicité remarquable. Ils ne portent que les appareils strictement nécessaires aux manœuvres et au contrôle.

Les trois panneaux situés au milieu du tableau central sont réservés à l'excitation. Chacun d'eux ne comportent qu'un ampèremètre et un voltmètre comme appareils de

contrôle et qu'un rhéostat de champ et un interrupteur bipolaire comme instruments de manœuvre.

Les deux panneaux situés à droite et à gauche des panneaux d'excitation portent des appareils de contrôle totalisateurs.

Chaque panneau d'alternateur est muni d'un ampèremètre, d'un voltmètre, d'un interrupteur tripolaire, d'un rhéostat d'excitation et d'une lampe de phase. On a prévu en outre, pour chaque circuit inducteur une résistance en manganine qui permet, à l'aide d'un millivoltmètre amovible de vérifier rapidement l'état de ce circuit.

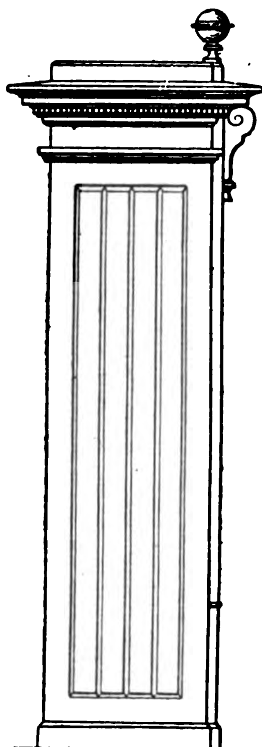


Fig. 10. — Tableau des feeders, vue latérale.

Les voltmètres sont branchés sur les circuits secondaires de petits transformateurs spéciaux.

Les rhéostats sont supportés par une tablette horizontale : ils peuvent être embrayés sur une transmission qui permet leur manœuvre simultanée.

Le tableau central est relié au tableau des feeders par une double ligne qui permet d'isoler les panneaux d'alternateurs par groupes de 8 : grâce à cette disposition, on peut effectuer très facilement les réparations ou modifications éventuelles du tableau sans interrompre le service.

On remarquera que le tableau central ne comporte pas un seul plomb fusible.

Le tableau des feeders porte, sur son panneau central trois voltmètres électrostatiques qui servent d'indicateurs de terre. Les deux panneaux voisins portent chacun trois ampèremètres collecteurs ainsi qu'un interrupteur général tripolaire.

Chaque panneau de feeder est muni de 3 ampèremètres, d'un interrupteur tripolaire et de trois plombs fusibles.

Les câbles qui établissent les connexions entre les machines et le tableau central ainsi que ceux qui relient ce dernier au tableau des feeders sont entièrement souterrains : les manœuvres dans le hall des machines peuvent ainsi être faites très commodément et sans aucun danger pour le personnel.

(A suivre)

J. L. Routin.
Ancien élève de l'Ecole Polytechnique.
Ingénieur à la Société Lyonnaise des forces motrices du Rhone.

AIMANTATION DES ALLIAGES DE FER ET D'ANTIMOINE (¹)

I. BUT DU TRAVAIL

Je me suis proposé en étudiant les alliages de fer et d'antimoine, d'établir une transition entre les corps peu magnétiques et très magnétiques (²) et de suivre ainsi l'apparition graduelle des propriétés de ces derniers.

(¹) Les propriétés magnétiques des alliages de fer et d'antimoine ont été signalées par M. Cailletet, *C R.* 48, p. 1113, 1859.

(²) M. P. Curie, *Annales de Chimie et de Physique*, 7 s, t. V, p. 289, 1895, a réalisé une semblable transition par l'étude du fer à différentes températures.

De nombreuses observations (¹) ont montré que la plupart des corps peu magnétiques et diamagnétiques prennent une aimantation proportionnelle au champ et sont dépourvus d'aimantation résiduelle, tandis que les corps très magnétiques s'écartent de l'aimantation proportionnelle au champ tant par une loi d'aimantation curviligne que par les phénomènes résiduels. On peut se demander si ces deux manifestations de la non proportionnalité de l'aimantation au champ sont liées l'une à l'autre. Pour préciser cette question, donnons une définition de la fonction magné-

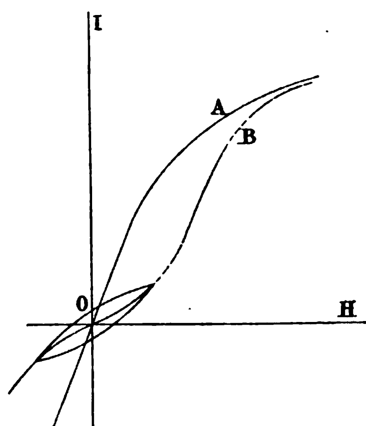


Fig. 1.

tisante dans le cas où il y a de l'aimantation résiduelle.

Ewing (²) a montré que si l'on faisait vibrer le fer pendant qu'on l'aimante, la branche ascendante et descendante des cycles se confondent en une même courbe que l'on peut appeler la courbe d'équilibre. On peut admettre qu'il existe une pareille courbe pour tous les corps, même quand l'expérience d'Ewing ne peut être réalisée. C'est cette courbe O A (fig. 1) qui doit être considérée comme l'analogue de la courbe d'aimantation unique des corps sans aimantation résiduelle. Elle présente un seul point d'inflexion situé à l'origine. Elle se distingue nettement dans le voisinage de l'origine, de la courbe des sommets des cycles plus accessible à l'expérience O B.

(¹) E. Becquerel, *Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ s, t. XXXII, p. 72, 1851.

P. Curie, *loc. cit.*

H. du Bois, *Wied. Ann.* 35, p. 137, 1888. — Bibliographie. — *Wiedemann Electricitätslehre*, 3ᵉ éd., t. III, p. 826.

(²) Ewing, *Phil. Trans.*, 1885, p. 564.

Les phénomènes résiduels donnent à cette dernière une forme convexe du côté de l'axe des abscisses dans le voisinage de l'origine. A une certaine distance elle redevient concave comme la courbe d'équilibre dont elle se rapproche et se trouve ainsi posséder trois points d'inflexion.

Pour un corps dépourvu d'aimantation résiduelle on sera assuré que la courbe déterminée expérimentalement est la courbe d'équilibre. Si elle a une forme curviligne on pourra conclure à l'indépendance de la courbure et de l'aimantation résiduelle.

Dans le cas, au contraire, où l'on trouve, par les sommets des cycles, une aimantation proportionnelle au champ avec phénomènes résiduels, on ne pourra se rendre compte si les points déterminés sont sur la courbe d'équilibre. On devra donc s'abstenir de tirer une conclusion.

On pouvait s'attendre à trouver des renseignements sur cette question dans l'étude des corps intermédiaires entre les corps ferromagnétiques et faiblement magnétiques.

D'autre part, si pour les corps faiblement magnétiques les mieux connus l'aimantation est proportionnelle au champ, il ne manque pas de corps faiblement magnétiques soit naturellement magnétipolaires soit susceptibles de conserver la polarité acquise dans un champ magnétique (¹). Ces corps sont le plus souvent des composés peu magnétiques du fer ou des matières dans lesquelles on a soupçonné, à tort ou raison, des impuretés ferrugineuses.

On ne possède actuellement aucun renseignement précis sur la loi de l'aimantation de

(¹) Greiss, *Pogg. Ann.* 98, p. 478, 1856.

E. Becquerel, *Annales de chimie et de physique*, 3 s, t. XXXII, p. 85.

Oersted, *Annales de chimie et de physique*, 3 s, t. XXIV, p. 432.

ces corps. Les moins magnétiques de ces alliages que j'ai étudiés rentrent dans cette catégorie.

Je me suis proposé enfin de mesurer pour une catégorie nouvelle de corps l'énergie dissipée dans les cycles en vue de la vérification de la loi de Steinmetz.

2. PRÉPARATION ET DESCRIPTION DES ALLIAGES (¹)

Les alliages sont obtenus en fondant ensemble au creuset des quantités convenables des deux métaux. L'antimoine fond d'abord et dissout le fer en donnant un alliage d'autant moins fusible qu'il est plus riche en fer. Des dix alliages que j'ai ainsi préparés les sept plus pauvres en fer ont été obtenus facilement dans un fourneau à réverbère chauffé au charbon de bois ; pour les trois derniers il a été nécessaire d'activer le tirage avec une tuyère. Ces alliages, maintenus en fusion pendant quelque temps et agités dans le creuset sont coulés dans une lingotière en fer forgé sous forme de barreaux cylindriques de 13 cm de longueur et de 1 cm de diamètre. Le métal ainsi solidifié par un refroidissement rapide a une apparence assez homogène et ne présente que fort peu de soufflures tandis que dans tous les essais faits en coulant l'alliage dans des moules en sable on n'a obtenu qu'une matière tout à fait poreuse, impropre à des mesures magnétiques.

Les matières premières dont je me suis servi sont le fil de fer de Suède et l'antimoine pur du commerce qui ne contient pas d'arsenic en raison des usages pharmaceutiques auxquels il est destiné. J'ai vérifié l'absence du plomb, le fer qui est aussi une de ses impuretés habituelles était sans inconvénient. L'alliage désigné par le numéro 4 seul a été obtenu avec de l'antimoine ordinaire, impur. Nous verrons que quant à ses propriétés magnétiques cet alliage se place en dehors de la série.

(¹) La préparation et l'analyse des alliages ont été faites au laboratoire de chimie de l'Ecole normale, dirigé par M. Joly, à qui je suis heureux d'adresser ici l'expression de ma reconnaissance.

La composition de ces alliages est approximativement connue par leur préparation. Elle a été déterminée plus exactement en dosant le fer à l'état de sesquioxyde, après avoir éliminé l'antimoine par l'hydrogène sulfuré.

Le tableau suivant contient leur composition et leur description.

	Fer pour 100				
N° de l'alliage	Analyse I	Analyse II	Moyenne		
1	26,0	25,9	26,0	cristallisé, fibreux, compacte	cassants
2	30,0	29,5	29,8	poreux	cassants
3	34,0	33,75	33,9	cristallisé, compacte	cassants
4	37,3	37,3	37,3	cristallisés, assez compactes, onctueux, tachant le papier comme le graphite, très fragiles.	
5	38,4	38,7	38,6		
6	42,7	42,7	42,7	poreux, grossièrement cristallisés.	
7	45,5	45,0	45,2	assez grossièrement cristallisé, quelques petites soufflures	
8	51,0	51,3	51,2	structure finement grenue, cassure ressemblant à celle de l'acier, plus tenaces que les précédents.	
9	54,0	54,7	54,4		
10	56,7	56,8	56,8		

On pourrait craindre, si l'on considère l'énorme influence des solutions de continuité dans l'aimantation du fer que la matière ne fût pas assez continue pour se prêter à des mesures correctes.

Mais si l'on excepte les trois derniers alliages qui sont aussi satisfaisants qu'une fonte de fer à grain fin, la susceptibilité magnétique ne dépasse pas 0,165. Le champ démagnétisant qui se produit dans le voisinage des discontinuités est par conséquent très faible et l'on est fondé à admettre que les résultats obtenus ne diffèrent guère de ceux qu'on aurait trouvés pour une matière continue. Ceci est vrai sans restriction pour les alliages de 1 à 5 où la susceptibilité reste au-dessous de 0,0051. Pour ces corps très peu magnétiques les champs démagnétisants sont tout à fait négligeables, l'intensité d'aimantation est indépendante de la forme du corps ; elle est le quotient du moment magnétique total par le

volume et les cavités n'interviennent qu'en faussant l'évaluation de celui-ci.

Si on essaye d'attirer des fragments de ces alliages avec un fort aimant en fer à cheval, les cinq premiers semblent non magnétiques, les autres sont attirés en fragments d'autant plus grands qu'ils contiennent plus de fer. Les barreaux de 13 cm de longueur et de 1 cm de diamètre formés des deux derniers sont soulevés tout entiers avec facilité.

Ces alliages n'ont pu être travaillés au tour à cause de leur fragilité, ils ont été régularisés à la lime et polis au papier émeri. Leur section a été déterminée en mesurant au milieu du barreau deux diamètres rectangulaires dont on a pris la moyenne.

3. PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE MESURE.

La méthode employée est celle du galvanomètre balistique, adaptée à la mesure de l'aimantation des corps peu magnétiques. Sous sa forme classique, cette méthode donne l'induction $B = H + 4\pi I$, H étant le champ et I l'intensité d'aimantation. Pour les corps très magnétiques H est en général une petite fraction de B. La mesure de l'induction est, par conséquent, tout à fait équivalente à celle de l'intensité d'aimantation. Dans les corps faiblement magnétiques au contraire, H peut devenir la partie tout à fait prépondérante et masquer complètement $4\pi I$; c'est ce qui s'est présenté pour les alliages de fer et d'antimoine. Pour le moins magnétique d'entre eux la bobine induite était traversée par un flux total environ 2 000 fois plus grand que la fraction provenant de $4\pi I$.

On a pu mesurer cette fraction seule en compensant l'induction de la bobine productrice du champ sur la bobine induite par un autre système de bobines placées l'une sur le circuit induit et l'autre sur le circuit inducteur et dont l'induction mutuelle était égale et opposée à la précédente.

Le principe de cette modification apportée à la méthode balistique est celui de la balance d'induction de Hughes. Les nombreux expérimentateurs qui l'ont appliqué répétaient périodiquement les courants d'induction pour rendre les effets plus sensibles. L'observation se faisait en mesurant, soit avec le téléphone (Hughes) (1), soit par la déviation permanente d'un galvanomètre dans lequel on envoyait les courants induits de même sens (Tœpler et von Ettinghausen) (2), soit avec l'électrodynamomètre (Borgmann) (3). Mais cette méthode de compensation n'a pas été appliquée à ma connaissance à la mesure d'un courant induit unique par le galvanomètre balistique.

Sous cette dernière forme elle a l'avantage d'une plus grande simplicité dans l'interprétation des résultats et celui de se prêter à l'étude des variations cycliques de l'aimantation. Pour les trois derniers alliages la partie magnétique $4\pi I$ de l'induction l'emporte sur le champ, on aurait donc pu se passer de la compensation, mais j'ai conservé la disposition des appareils, que j'ai trouvé commode, jusqu'à la fin de la série.

Dans l'aimantation des plus magnétiques de ces alliages, le champ extérieur est modifié d'une manière sensible par le champ démagnétisant. Ce n'est que pour ces derniers qu'il a été nécessaire de recourir à la méthode de la double bobine, appliquée sous une forme un peu différente de celle qui a servi pour la magnétite ainsi qu'il sera expliqué plus loin.

4. DESCRIPTION DES APPAREILS.

Les appareils sont à quelques détails près les mêmes que ceux qui ont servi pour la magnétite (4). La seule modification apportée à leur disposition d'ensemble, représentée dans la figure de la page 491 est l'addition de l'induction mutuelle, $C_1 c_1$ qui compense H, h ; c_1 est une bobine annulaire entourant la bobine C_1 et portée par trois vis. On mettait sur C_1 un nombre de tours tel que la compensation soit un peu dépassée quand c_1 est placé au milieu de C_1. Dans cette position moyenne, l'induction mutuelle de c_1 C_1 est maximum ; en

(1) HUGHES, *Phil. Mag.*, 5 s. 8.

(2) TŒPLER u. v. ETTINGHAUSEN, *Pogg. Ann.* 160, p. 1. 1875.

(3) BORGMANN, *Beiblatter* 3, p. 812, 1879.

(4) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 13 juin, p. 487.

écartant c_1 du milieu de C_1 on la fait varier très lentement et on arrive facilement à une compensation assez bonne. Il avait été nécessaire de placer c_1 C_1 comme h H dans une pièce voisine, loin du galvanomètre. On achevait le réglage au moyen d'une petite induction mutuelle variable c_2 C_2 que l'on avait sous la main en observant les impulsions. Il se faisait avec une grande précision en répétant les impulsions synchroniquement avec les oscillations de l'équipage astatique.

J'ai eu, dans ces expériences, beaucoup à lutter contre les défauts d'isolement, par suite de l'extrême sensibilité du galvanomètre, du grand développement du circuit induit et du voltage relativement élevé (15 et 30 accumulateurs) du circuit inducteur. Ils se manifestaient généralement en rendant impossible une compensation tout à fait rigoureuse des inductions mutuelles. Souvent même le galvanomètre se mettait en marche par le jeu du commutateur, le circuit inducteur ou le circuit induit ou tous les deux étant coupés. On se débarrassait complètement de ces effets par un lavage abondant de tous les isoloirs du circuit induit, en verre, en porcelaine ou en ébonite avec une solution très étendue de gomme laque dans l'alcool. Il fallait recommencer cette opération toutes les trois semaines environ.

La bobine productrice du champ H est placée verticalement. Elle est représentée avec la bobine induite dans la figure 2. On laisse glisser dans celle-ci l'alliage M sous forme d'un barreau de 13 cm de long et de 1 cm de diamètre en le tenant par un fil f. Il est guidé par le tube de verre V et repose sur le butoir b. Il est important de l'introduire sans choc, pour ne pas dérégler la compensation. De petits blocs de paraffine p isolent complètement la bobine induite du sol.

Les premières bobines induites ayant présenté quelques défauts, celles qui ont servi aux expériences définitives ont été l'objet d'un soin particulier. Elles sont représentées dans la figure 3. La carcasse est en buis paraffiné et le fil de cuivre recouvert de soie est noyé dans la paraffine. La bobine de 2000 tours qui a servi pour les alliages les moins magnétiques a une résistance assez voisine de celle du galvanomètre (146 ω) de façon à se rapprocher des conditions de sensibilité maxima pour le circuit induit [1]. Elle était composée de deux parties de 1 000 tours dont l'identité à été vérifiée par le procédé expérimental indiqué dans mon précédent article.

Pour plus de sureté j'ai fait une bobine identique à la première dont j'ai comparé le nombre de tours à celui de la première par le même procédé. Ici la comparaison est plus difficile parce que le pôle magnétique que l'on fait passer à travers les deux bobines les traverse successivement. Au lieu d'observer une compensation exacte on a deux impulsions égales et contraires se succédant très rapidement [2].

La discussion de cette dernière expérience m'a conduit à une limite supérieure de la différence possible des nombres de tours égale à $\frac{1}{350}$ du nombre de tours de l'une des bobines. J'ai donc considéré l'exactitude du nombre de tours comme établie.

Pour les alliages les plus magnétiques je me suis servi d'une bobine de 400 tours, composée de deux parties dont l'identité a été vérifiée par le même procédé.

J'ai déterminé l'aire de ces bobines par la méthode de comparaison avec une aire mesurable, que j'ai rappelée à propos de la magnétite. Seulement, ici les aires étant assez grandes, je n'ai pas été obligé de placer les bobines dans le champ intense de la bobine H pour avoir des effets appréciables. J'ai pu me servir du champ connu du solénoïde d'étalonnement E qui constitue avec la bobine à mesurer une première induction mutuelle. Le solénoïde E entouré de quelques tours extérieurs de fil induit, fournit aussi l'induction

[1] Voir l'article cité sur le galvanomètre. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 311, 1895.

[2] J'ai examiné dans une note publiée dans le *J. de Phys.* 3 s, t. V, p. 420, 1895, l'effet de deux percussions successives très rapprochées sur le galvanomètre balistique.

mutuelle calculable que l'on oppose à la première.

J'ai trouvé ainsi .

Bobine de 2 000 tours	
Somme des aires des deux parties	S = 3 693 cm²
Différence » » » »	D = 909,2
Bobine de 400 tours	
Somme des aires des deux parties	S = 815,6 cm²
Différence » » » »	D = 121,0 cm²

Mesure du champ de la bobine H. — Pour les 5 premiers alliages les moins magnétiques le champ magnétisant pouvait être

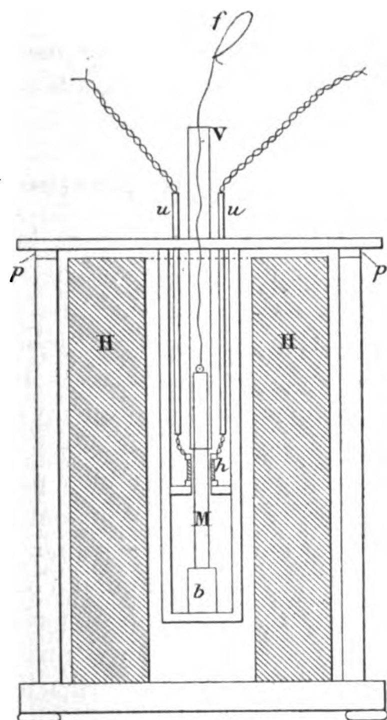


Fig. 2. — Echelle 1/5.
H bobine productrice du champ.
h » induite.
M Matière magnétique à étudier.

considéré comme identique au champ extérieur ; pour les derniers, la méthode de la double bobine, sous la forme employée pour les alliages, ne donne pas le champ total mais le champ démagnétisant seulement. Il est donc nécessaire de connaître le champ au centre de la bobine H en fonction du courant inducteur. On arrive à ce but en comparant le champ de la bobine H au champ du solénoïde E, traversés par un même courant.

J'ai fait cette comparaison de deux manières différentes. J'ai d'abord placé successivement une même bobine induite dans les deux bobines sans rien changer au reste des deux circuits dont l'induction mutuelle avait été annulée avec soin. Le rapport des impulsions observées dans les deux cas au galvanomètre balistique pour une même variation du courant inducteur donnait alors le rapport des champs dans les deux bobines. Le tableau suivant donne une série d'expériences. Les nombres qui y figurent sont la moyenne de 4 observations, ramenées à un courant inducteur égal à 100 divisions.

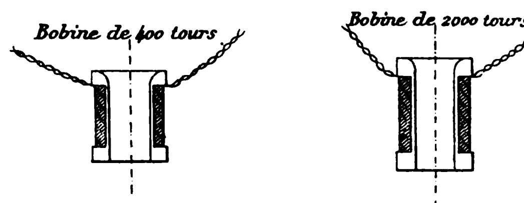


Fig. 3. — Echelle 1/2.

	Solénoïde	Bobine H
		347,0
		346,7
		345,3
		346,9
	88,92	
	89,43	
		345,3
		346,1
	88,87	
	89,60	
Moyenne :	89,20	346,2

Rapport du champ de la bobine H à celui du solénoïde :

$$\frac{346,2}{89,2} = 3,881.$$

D'après le degré de concordance de ces nombres la précision de cette détermination est inférieure à celle des autres opérations d'étalonnement.

Je l'ai reprise par une méthode de zéro en quelque sorte inverse de celle de la détermination des aires. J'ai mis dans la bobine H la

bobine de 400 tours dont l'aire est déterminée très exactement à l'aide du solénoïde seulement, et je lui ai opposé une bobine entourant le solénoïde à laquelle j'ai donné le nombre de tours nécessaire pour annuler l'induction. J'ai trouvé ainsi pour le rapport cherché :

$$3,877$$

qui diffère de $\frac{1}{1000}$ du résultat précédent et qui est vraisemblablement exact à moins de $\frac{1}{1000}$ près.

En résumé, les seules longueurs mesurées directement pour la détermination des aires des bobines et du champ sont les dimensions du solénoïde.

La longueur de la bobine H est loin d'être suffisante pour que le champ puisse être considéré comme uniforme dans toute l'étendue occupée par un barreau. Pour mesurer ses variations j'ai déplacé le long de son axe une petite bobine exploratrice de 45 tours, de 12 mm de diamètre et de 10 mm de hauteur. Après avoir compensé la plus grande partie de l'induction mutuelle de H sur cette bobine de façon à n'en mesurer que les variations, j'ai noté les impulsions du galvanomètre balistique pour les différentes positions de la bobine exploratrice.

Position de la bobine exploratrice mesurée à partir d'une origine arbitraire	Champ Le champ du solénoïde étalon étant posé = 1
14 cm	3,877 — 0,42
12	— 0,21
10,5	— 0,13
9,0	— 0,06
7,5	— 0,012
5,0	— 0,024
3,5	— 0,063

Si l'on représente ces observations par une courbe en portant les nombres de la première colonne en abscisses et ceux de la deuxième en ordonnées elle ressemble, dans la partie centrale, à une hyperbole dont le sommet a pour abscisse celle du milieu de la bobine. Cette courbe montre qu'aux points occupés par l'extrémité des barreaux le champ est inférieur de 7 pour 100 au champ maximum.

La différence du champ au milieu et à l'extrémité de la bobine induite n'est pas donnée avec précision par ces expériences, la bobine exploratrice étant trop grande par rapport à la bobine induite, mais elles donnent une idée de son ordre de grandeur. On trouve 0,3 pour 100.

(A suivre). Pierre Weiss.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE [1]

Dans notre précédent numéro, nous signalions une communication faite à la section de la sucrerie par M. *Battut*, sur

L'épuration des jus sucrés par l'électrolyse.

Cette question a été l'objet, de la part de l'auteur, de nombreuses recherches exposées en détails dans un rapport distribué aux membres du Congrès au début de la séance. Profitant de cette circonstance, M. Battut ne fait qu'en résumer très brièvement les diverses parties et en donner la conclusion qui, comme nous le verrons, est bien pessimiste.

De l'avis des chimistes compétents, ce rapport est extrêmement remarquable ; nous l'avons parcouru, mais comme il n'occupe pas moins de quatre-vingt-quinze pages, nous craignons de ne pouvoir en donner aujourd'hui qu'une analyse trop superficielle et nous préférons remettre cette analyse à plus tard, nous bornant pour le moment à indiquer, d'après l'auteur, les recherches qui ont été faites jusqu'ici sur l'épuration des jus sucrés par l'électrolyse et dont les plus importantes ont été signalées, soit dans ce journal, soit dans la *Lumière Électrique*. En suivant l'ordre chronologique, nous trouvons :

I. — En 1848. Brevet anglais de M. William Hood *Clément*, électrolyse simple de la mélasse non diluée portée à haute température ; pas de résultat industriel.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 1er août, p. 214.

II. — En 1867. Essais de M. *Piéron*, également sur la mélasse ; résultat négatif.

III. — En 1875. Essais de MM. *R.* et *A. Collette* et *Gramme*, lesquels opèrent par voie électrodialytique, au moyen d'un appareil comprenant un bac de 14 hectolitres, divisé par des cloisons en papier-parchemin formant ainsi des compartiments, dans lesquels plongeaient des électrodes en platine. Il fallait, malgré l'emploi de deux dynamos Gramme du type normal, 25 heures pour enlever la moitié des sels ; l'adoption de la diffusion serait venue arrêter ces essais, dont le résultat connu est peu concluant.

IV. — En 1887. Essais de MM. *Legru* et *Censier*, dans des conditions analogues ; pas de résultats.

V. — En 1878. Essais de M. *Gills*, sur les jus et mélasses de cannes ; pas de renseignements détaillés.

VI. — En 1883. Essais de MM. *Hœnig*, *Beer* et *Gawalowski* par électrodialyse fractionnée ; pas de résultats.

VII. — En 1883. Procédé de M. *Despeissis*. Electrodialyse de la mélasse. M. Despeissis s'était proposé l'extraction *complète* du sucre contenu dans les jus de saturation ; il opérait sur des liquides sucrés chauffés, et employait des électrodes en platine ou en charbon. Les appareils adoptés ont été successivement : 1° un bac séparé en deux par une cloison poreuse (papier-parchemin ou argile non cuite) ; 2° un bac contenant le jus sucré, dans lequel plongeaient deux vases poreux remplis d'eau acidulée ou alcalinisée, renfermant les électrodes ; 3° un bac divisé en compartiments par des cloisons poreuses ; le compartiment du milieu recevait le liquide à épurer, les deux autres, de l'eau et les électrodes : les alcalis se portaient au pôle —, les acides organiques au pôle +. Il complétait ou préparait l'action électrolytique, par l'emploi d'ozone, des sels de plomb, de fer, d'alumine et de chaux, de baryte et de strontiane. MM. Dudok et de Witt (Amsterdam) ont essayé ce procédé ; ils ont obtenu l'épuration, mais il y avait formation de glucose et il ne se produisait pas de décoloration ; de plus, un très fort courant était nécessaire. Si le procédé Despeissis n'a pas reçu ultérieurement d'application industrielle, son auteur a eu le mérite de mettre en lumière certains phénomènes accompagnant l'épuration électrolytique, et c'est avec raison que M. Daix a pu faire observer qu'il a été le vrai précurseur de tous ceux qui ont ensuite cherché à combiner l'électrolyse et la dialyse, en faisant emploi d'électrodes inertes.

VIII. — En 1884. Brevet de MM. *Champy* et *fils* ; même procédé que celui de Despeissis (Brevet français « *Journal des fabricants de sucre* » décembre 1885 et septembre 1886).

IX. — En 1884 également, essais de *Görz*, sur les masses cuites et les mélasses ; le traitement électrique améliorait bien la qualité de la mélasse, mais le sucre extrait coûtait 20 à 22 fois plus que le sucre ordinaire.

X. — En 1887. Essais de *Landolt*, sur les sucres bruts ; électrodes en platine ; pas de résultats ; même conclusion.

XI. — En 1885 aussi, essais de *Hubin* (Brevet français « *Sucrerie Indigène* » août 1891).

XII. — En 1889. Procédé *Maigrot* et *Sabates*. Application aux jus et mélasses de canne, dans les conditions suivantes : les jus sucrés à épurer subisent deux traitements électrolytiques successifs ; dans le premier, ils sont débarrassés des alcalis ; dans le second, on enlève les acides mis en liberté ; le premier traitement s'effectue dans des « rigoles » de 250 mm de largeur sur 300 mm de hauteur, divisées en trois compartiments par des cloisons poreuses ; le jus entre à une extrémité, dans le compartiment du milieu renfermant les anodes en charbon, pendant que l'eau qui remplit les compartiments extérieurs renfermant les cathodes en fer, entre par l'extrémité opposée ; plusieurs rigoles (10 à 18), sont placées l'une à côté de l'autre, le jus et l'eau les traversent successivement, en sens contraire. Les liquides sucrés débarrassés des alcalis, sont filtrés, puis passent dans une seconde batterie semblable à la première, avec cette différence que le compartiment du

milieu est devenu négatif; les eaux des compartiments + se chargent alors des acides. Malgré des résultats de laboratoire excellents, ce procédé n'a pas justifié les espérances de ses inventeurs, par suite de la perte en sucre produite dans les différentes phases du travail et aussi, de la complication du matériel nécessaire ; il est, on le voit, la mise au point de celui de Despeissis et marque la seconde étape sérieuse.

XIII. — Essais de *Fahrig*, qui traite d'abord les sucres par l'ozone produit par des décharges électriques, puis ensuite épure leur solution par voie électrolytique, au moyen d'électrodes en charbon, séparées par des cloisons poreuses.

XIV. — En 1893. Procédé *Schlomeyer*, *Behm* et *Dammeyer*. Ce procédé décrit avec détail par M. V. Daix, consiste à soumettre le jus brut des betteraves préalablement chauffé, à un courant électrique de faibles densité et force électromotrice, au moyen d'électrodes en zinc. Ce traitement électrique donnerait une épuration préparatoire permettant l'emploi de 3/4 à 1 pour 100 de chaux seulement à la carbonatation, au lieu de 2 1/2 à 3 pour 100. Une petite dynamo, absorbant une force de un cheval, suffirait au travail de 100 000 kg de betteraves en 12 heures. Les masses cuites obtenues seraient plus pures, moins colorées et donneraient des sucres de meilleure qualité.

M. le Dr Bersch (*Sucrerie Indigène* du 10 juillet 1894; *Bulletin de l'Association belge des Chimistes*, de juillet 1894; *Journal des fabricants de sucre*, du 26 septembre 1894), constate en effet, que ce traitement produit une épuration réelle, permettant l'emploi subséquent d'une quantité de chaux moindre, et attribue ce résultat *uniquement* au courant électrique, car on obtient absolument les mêmes effets, qu'on fasse usage d'électrodes solubles ou en platine. Plusieurs applications industrielles de ce procédé ont été faites en Autriche et en France.

XV. — 24 janvier 1894. Procédé *Javaux*, *Gallois* et *Dupont* (Brevet autrichien, *Journal des fabricants de sucre*, du 26 septembre 1894).

Les inventeurs extrairaient *tout le sucre* contenu dans le jus, sous forme de sucre blanc ou raffiné, sans production de mélasse. Le nouveau procédé ne supprimerait pas la chaux; il supprime l'acide carbonique et laisse subsister la défécation à chaud. « Pour le traitement électrique, il faut deux séries de cuves ; ces cuves sont divisées par des cloisons poreuses, en compartiments à jus et à eau, dans lesquels plongent des anodes en oxyde de manganèse ou en aluminium, destinées à fixer les acides du jus, mis en liberté, et des cathodes en charbon, fer, ou autres matières insolubles dans les alcalis qui, passant à travers les cloisons, se rendent dans l'eau où plongent ces cathodes. Le traitement électrique se répète dans la deuxième série de cuves, mais avec des anodes en plomb. »

Le texte du brevet donne en outre les renseignements suivants.

« Sous l'action du courant électrique, les matières étrangères sont décomposées. Les acides devenus libres sont fixés par les anodes d'oxyde de maganèse ou d'aluminium, tandis que les éléments basiques correspondants traversent les diaphragmes et se rendent dans les compartiments à eau. Il est très important de soumettre les jus (il s'agit toujours de jus épurés préalablement par CaO ou BaO et chauffés à 90°), à l'action d'anodes d'oxyde de manganèse, parce que les premiers éléments acides, mis en liberté par le courant, forment, avec ces anodes, ainsi que l'expérience des inventeurs le leur a démontré, des combinaisons complètement insolubles ; d'autre part, le plomb, facile à régénérer, est plus avantageux pour la fin de l'action électrolytique. »

« L'emploi d'électrodes en plomb, dès le début de l'action électrolytique, pourrait avoir aussi, avec certains jus, l'inconvénient de donner naissance à des sels de plomb solubles qui augmenteraient l'impureté du jus et qui nécessiteraient ensuite un traitement éliminatoire. »

A leur sortie de la seconde série de cuves,

les jus sont séparés des précipités formés ; s'ils renferment du plomb, on les additionne d'acide phosphorique ou d'acide sulfureux dilué jusqu'à réaction légèrement acide ; l'excès d'acide, s'il y en a, est précipité par la chaux. On filtre ensuite, évapore et cuit.

Les revendications des brevetés sont les suivantes :

1° Dans l'épuration des jus sucrés, traitement préparatoire par la chaux pour précipiter les acides libres et la plus grande partie des matière organiques.

2° Épuration des jus sucrés par le courant électrique à l'aide d'anodes solubles d'oxyde de manganèse ou d'aluminium.

3° Épuration des jus sucrés par une double action électrolytique, la première à l'aide d'anodes en oxyde de manganèse ou en aluminium ; la deuxième à l'aide d'anodes en plomb.

4° Épuration des jus sucrés par la chaux d'abord, puis par électrolyse avec anodes en plomb, auquel cas l'action préparatoire de la chaux empêche la formation des sels de plomb solubles.

5° Épuration des jus sucrés par la chaux d'abord, puis par l'électrolyse à l'aide d'anodes de manganèse ou en aluminium, puis de nouveau par électrolyse au moyen d'anodes en plomb.

Ce procédé a fait l'objet d'applications industrielles,

Nous ne parlons que pour mémoire du brevet L. H. Despeissis, du 27 avril 1895, qui ne présente rien de particulier.

Vient enfin :

XVI. — Brevet *Gin*. du 3 novembre 1894, pour procédé d'épuration intégrale des jus sucrés (*Sucrerie indigène*, du 9 juillet 1895), et brevet *Gin* et *Leleux*, sous mêmes titre et objet (loc. cit.), pris le 9 novembre 1894.

Ce procédé d'épuration comporte :

a. L'action simultanée de l'alumine et d'une base alcalino-terreuse préalablement séparées et combinées, dans le but de précipiter la majeure partie des matières salines et organiques et les principes colorants.

b. L'action d'un courant électrolytique de force électromotrice progressive avec anodes solubles en plomb ou autre métal à propriétés précipitantes, dans des appareils à compartiments séparés par des cloisons poreuses.

c. L'action de l'acide hydrofluosilicique, pour précipiter et récupérer les alcalis transportés dans les compartiments négatifs et simultanément faire rentrer dans le jus épuré, le sucre diffusé à travers les cloisons poreuses, l'acide hydrofluosilicique pouvant être ultérieurement régénéré.

e. L'application d'un appareil composé de compartiments + et —, séparés les uns des autres par des cloisons poreuses, les compartiments + contenant les anodes et les compartiments — les cathodes.

Le brevet, pris au nom de la Société Gin et Leleux, présente une variante :

a. Action d'un courant électrolytique avec électrodes inertes, dissociant les impuretés, puis courant électrolytique, partie avec anodes solubles et partie avec anodes inertes, provoquant la séparation et l'élimination par électro-pseudolyse des matières basiques et acides.

c. Fractionnement de l'opération électro-pseudolytique, avec anodes solubles, dans la première fraction seulement, et utilisation comme réactif, dans la seconde partie, du liquide éliminateur acide provenant de la première opération, afin de solubiliser le minimum possible du métal de l'anode.

d. Osmose électrique des liquides éliminateurs afin d'en retirer le sucre diffusé à travers les diaphragmes.

Ces divers procédés peuvent se ramener à deux types principaux :

1° *Électrolyse*, sans emploi de cloisons poreuses (procédé Scholmeyer, Behm et Dammeyer).

2° Électrolyse, avec emploi de cloisons poreuses ; l'auteur le nomme, pour cette raison : *Électrodialyse*, cela pour plus de clarté et sans faire de confusion entre la dyalise ordinaire, à propriétés bien spéciales, ne pouvant entrer en jeu dans l'électrodialyse que si le

courant électrique est interrompu. L'électrodialyse peut elle-même être divisée en plusieurs catégories, suivant la nature du dispositif adopté

a Électrodialyse, avec anodes solubles donnant des précipités insolubles (procédés Javaux, Gallois et Dupont).

b. Électrodialyse, avec électrodes inertes (procédés Despeissis, Maigrot et Sabates).

c. Électrodialyse, avec anodes insolubles, puis anodes solubles (procédés Gin et Leleux),

Renvoyant à un de nos prochains numéros l'analyse des recherches personnelles de M. Battut, passons aux conclusions qu'il en tire :

« Il résulte, de nos recherches, que contrairement à certaines opinions émises, il n'y a pas et il ne peut pas y avoir destruction du non sucre par voie électrolytique, lorsqu'on fait emploi d'anodes solubles.

» Le passage du courant dans le jus brut, amène une désagrégation des impuretés ; les bases se rendent au pôle négatif, mais demeurent dans le liquide, tandis que les acides organiques vont aux pôle positif, où rencontrant un oxyde métallique à l'état naissant, condition très favorable, ils forment des combinaisons dont les plus fixes échappent aux réactions secondaires qui s'établissent forcément en présence des alcalis mis en liberté et se précipitent. L'épuration qui en est la conséquence est peu supérieure à celle d'un bon travail par double carbonatation, lorsque l'électrolyse est combinée avec ce traitement à doses de chaux réduites, mais on observe, en général, une décoloration accentuée.

» En somme, le rôle de l'électrolyse, avec anodes en zinc ou en plomb, est simplement de solubiliser ces deux métaux de façon à en permettre la combinaison avec les acides organiques dissociés, de sorte que l'épuration est effectuée avec des oxydes de zinc ou de plomb, au lieu de l'être avec de l'oxyde de calcium ; si les deux premiers oxydes étaient susceptibles de former des composés insolubles avec certaines matières organiques échappées au troisième, ils devraient donner une épuration notable dans l'électrolyse des jus déjà épurés par la chaux ; or, il n'en est pas ainsi : le non-sucre laissé dans les jus par cette base est d'autant moins diminué par le traitement électrolytique qu'on s'éloigne davantage de la tête du travail ; voici, en effet, ce que l'ensemble de nos essais sur l'*électrolyse* nous a permis de constater :

	Electrolyse du jus brut (7 essais)	Electrol du jus déjà épuré par double carbonatation (6 essais)	Electrolyse des sirops épurés (5 essais)	Electrolyse de la mélasse (2 essais)
Epuration supplémentaire p. 100 de non-sucre	11,2	7,0	3,8	0,0
Epuration supplémentaire p. 100 de sucre.	4,1	1,1	1,2	0,0
Coulombs consommés p. 100 cc. de jus (ou sirop) initial	1 276	597	1 989	1 557
Force électromotrice mesurée aux bornes de l'électrolyseur, en volts	4,3	4,3	6,9	3,0
Joules p. 100 cc. de liquide initial	5 837	2 580	13 640	4 695
Plomb dissous p. 100 cc. de liquide initial.	1,88	0,81	2,15	1,50
Zinc dissous p. 100 cc. de liquide initial ...	0,36	0,32	0,35	0,45
Chevaux-vapeur pour 100 litres à l'heure..	2,20	0,97	5,14	1,77

» Les épurations obtenues sont donc bien faibles dans les trois dernières catégories d'essais. Nous avons opéré sur des produits assurément d'une composition fort inférieure à celle qu'on rencontre dans la pratique, mais la mélasse, elle, était bien normale ; elle n'a subit aucun changement chimique. Cette mauvaise qualité des jus bruts et jus ou sirops épurés aurait dû d'ailleurs disparaître devant l'énergie mise à la disposition de l'épuration électrique ; si nous rapportons, en effet, pour fixer les idées, les consommations ci-dessus à un travail industriel 200 000 kg par 24 heures, soit 2 400 hl. de jus, soit encore 100 hl. de ce dernier à l'heure, nous voyons qu'il nous aurait fallu demander à nos producteurs d'énergie, 220 chevaux nets (sans compter la force absorbée par les moteurs intermédiaires) pour épurer le jus brut.

» Nous sommes donc loin des chiffres qui ont été présentés comme types, il y a quel-

ques années ; nous sommes également loin, étant donné l'effet utile produit, du chiffre théorique, calculé par MM. Gin et Leleux, lequel est de 394 chevaux pour la décomposition électrolytique complète du jus brut dans les conditions de production admises ; théoriquement aussi, d'après les mêmes auteurs, la force électromotrice nécessaire à cette décomposition, abstraction faite de la polarisation des électrodes, varie de 0,6 à 2,2 volts ; on a vu que nous nous sommes constamment tenu bien au-dessus de ces limites, condition sans doute défavorable au point de vue de la consommation d'énergie, mais très favorable au point de vue de l'épuration cherchée. De plus nous aurions consommé journellement de 768 à 1080 kg de zinc et de 1 994 à 5 160 de plomb.

» Nous nous empressons d'ailleurs de dire que nous n'entendons pas donner de valeur absolue à ces déductions, comme à celles, que pour la clarté de notre exposé, nous aurons à présenter plus loin. Il est d'ailleurs incontestable que l'application en grand doit permettre d'effectuer certaines opérations dans de meilleures conditions, mais il en est d'autres qui, au contraire, ont tout à gagner à être vues du laboratoire, nous voulons parler des actions parasites qui doivent se produire dans les électrolyseurs de grandes dimensions.

» Donc, l'électrolyse simple n'épure pas, à beaucoup près, en raison des frais qu'elle occasionne ; mais elle décolore, avons-nous dit, elle décolore même admirablement et dans des conditions qui en rendent l'application désirable à un milieu alcalin. Cette action est aussi marquée sur les jus et sirops que sur la mélasse et ne s'accompagne pas, comme avec l'acide sulfureux, d'une rentrée d'impuretés. Nous craignons fort que cette propriété ne puisse malheureusement être mise à profit de longtemps, les avantages à en retirer réellement étant discutables. Il ressort, en tous cas, de nos essais, qu'il faudrait dans une application de l'électrolyse à la décoloration, recourir, non aux électrodes en plomb, mais à celles de zinc, lequel est beaucoup moins soluble et ne nécessiterait pas ensuite un traitement éliminatoire spécial.

» Nous nous sommes suffisamment expliqué sur le parti à tirer de l'électrolyse, quant à l'augmentation de puissance de la station d'épuration ; mettre cette dernière en rapport avec le travail qu'on lui demande est autrement simple que de recourir au traitement électrolytique, l'oxyde de zinc, même donnât-il une épuration supérieure de 11,2 p. 100, n'étant pas encore arrivé à un prix qui lui permette de soutenir la comparaison avec l'oxyde de calcium.

» Quels sont, maintenant, les résultats à attendre de l'électrodialyse ?

» Nous nous trouvons ici en présence de procédés permettant d'amener les produits de sucrerie à des puretés voisines de la pureté absolue.

» Nous avons montré que l'ensemble des impuretés du jus brut, abstraction faite du glucose, peuvent être éliminées sous l'action d'un courant de dimensions suffisantes, avec l'emploi d'anodes en plomb, et cela, en un traitement, comme l'ont annoncé et comme le pratiquent MM. Javaux, Gallois et Dupont.

» Nous avons également fait ressortir que l'électrodialyse, si puissante dans ces conditions, était bornée dans son action lorsqu'on l'appliquait à l'épuration de jus déjà traités par la chaux, suivant la méthode industrielle habituelle, et nous avons expliqué ce fait par la modification subie au contact de cette base par une partie du non-sucre organique ; pour arriver à l'élimination de ce dernier, il faut avoir recours à l'électrodialyse fractionnée, effectuée avec des électrodes inertes, afin d'enlever les acides et les alcalis, puis avec des anodes solubles pour séparer les matières organiques restantes sous forme de combinaisons insolubles. Que l'on opère sur le jus brut ou sur un produit épuré, le problème de l'élimination complète des impuretés est donc théoriquement réalisable, mais à quel prix ?

» L'inspection du tableau suivant doit nous enlever beaucoup d'illusions, si tant est qu'on

ait pu en conserver encore après la lecture des pages qui précèdent.

» Si, par exemple, nous rapportons également à un travail de 100 hectolitres à l'heure les données de ce tableau pour ce qui concerne le traitement électrodialytique du jus brut, nous voyons que nous aurons besoin d'abord d'une machine susceptible de développer 662 chevaux ; nous consommerions, en outre, 13 728 kil. de plomb par vingt-quatre heures, et nous immobiliserions 2 126 kil. de sucre, dans les liquides éliminateurs alcalins, qu'il faudrait récupérer par voie électrique, d'où dépense supplémentaire.

Procédé employé	Nature du liquide traité	Epuration rapportée à celle de la double carbonatation		Données électriques			Consommations				
									Sucre perdu dans les liquides éliminateurs		
		P. 100 de non-sucre	P. 100 de sucre	Coulombs p. 100 cc. liquide initial	Force électromotrice volts	Joules p. 100 liquide initial	Chevaux vapeur pour un travail de 100 lit. à l'heure	Plomb dissous p. 100 cc. du liquide initial	P. 100 liquide initial	P. 100 de sucre	Pour 1 de non-sucre éliminé
Electrodialyse avec anodes solubles	Jus brut normal	70,8	10,88	1 851	8,3	15 363	5,80	4,71	0,886	5,99	0,55
	Jus brut dilué	81,8	12,59	2 052	8,6	17 544	6,62	5,72	0,692	4,68	0,37
	Jus épuré	41,0	6,10	1 823	5,0	9 115	3,44	2,46	0,436	2,36	0,38
	Jus épuré	50,0	7,45	4 366	5,7	24 886	9,39	4,28	0,236	1,27	0,17
	Mélasse diluée	32,6	22,46	4 800	4,8	23 040	8,69	6,33	0,266	3,54	0,16
	Mélasse diluée	45,1	31,10	14 266	5,9	85 508	32,27	12,01	0,917	12,19	0,39
Electrodialyse av. anodes inertes et anodes solubles	Mélasse diluée	63,9	44,01	6 016	6,6	39 894	15,05	5,55	1,055	14,03	0,32

» Un même calcul, effectué pour la mélasse montre que sa régénération entraînerait à une consommation d'énergie et de plomb fantastique.

» Il s'agit évidemment toujours de constatations faites au laboratoire, et en ayant comme objectif, non de réduire par tous les moyens possibles les consommations de métal et d'énergie, mais d'arriver avant tout à la plus grande épuration, point que nous avons d'ailleurs à peine atteint. Si l'on considère maintenant la difficulté d'établissement des appareils électrolyseurs eux-mêmes, celle d'entretenir les anodes et les septums dans un état de propreté suffisant et d'assurer l'étanchéité complète de chaque compartiment celle de produire une agitation constante dans les liquides en traitement, celle résultant de la délicatesse et de peu de durée des papiers-parchemins ; si l'on ajoute à cela celle provenant des variations considérables de la résistance, obligeant à une installation électrique compliquée et, partant, plus coûteuse encore, l'on doit admettre que, ce qui était réalisable en petit, peut l'être beaucoup moins facilement en grand.

» Il faut donc savoir gré de leur hardiesse aux novateurs qui n'ont pas craint de s'attaquer à la résolution d'un semblable problème, et nous leur souhaitons, pour notre part, le succès le plus complet.

» Si de nos essais il n'appert pas que l'électrolyse en général puisse être susceptible d'une extension à la pratique, en l'état actuel

de nos connaissances, nous ne voulons risquer aucunement d'être contempteur de son avenir.

» Nous savons que toute question nouvelle lorsqu'elle se présente sous des dehors quelque peu brillants, possède au plus haut point le don de passionner l'opinion intéressée, d'où emballement. Tel est, pensons-nous, ce qui s'est produit dans les premières tentatives d'application de l'électricité à l'épuration des produits de sucrerie, les plus complexes qu'on puisse rencontrer. On a déjà tant demandé et obtenu de l'électricité qu'il semblerait qu'en s'adressant à elle, tout devienne possible, immédiatement réalisable ; il faudrait cependant tenir compte de la période de transition qui, logiquement, doit séparer le passage de la conception de cabinet à sa réalisation pratique.

» Pour nous, l'électrodialyse traverse cette période de transition ; ses débuts ont peut-être été trop rapides, la question n'étant pas tout à fait mûre : la conséquence la plus défavorable de cette hâte, serait qu'après avoir tout espéré d'elle, on en vint à tout lui dénier, autre forme de l'exagération. Il convient donc d'attendre encore avant de juger *industriellement et définitivement* un procédé auquel il a été à peine donné de faire les premiers pas, en n'oubliant pas, que s'ils sont les seuls à coûter, encore doivent-ils être faits ; un semblable jugement ne saurait d'ailleurs, en aucun cas, être basé uniquement sur une étude électrochimique, dont le cadre est plus restreint.

» Quoi qu'il en soit nous pensons que l'on pourrait, dès maintenant, au laboratoire, tirer des indications d'une utilité incontestable, de l'application appropriée de l'électrodialyse ; elle permettrait par exemple de contrôler la station d'épuration, et de déterminer exactement la proportion de chaux la plus favorable ; elle permettrait surtout d'effectuer *l'analyse* complète de la mélasse, ce que l'on ne peut faire actuellement autrement, sans modifier les propriétés de ses composants, et cela conduirait à des conclusions intéressantes, non seulement au point de vue chimique, mais aussi au point de vue technique, la mélasse étant après tout le *criterium*, d'après lequel on peut juger de la conduite des opérations, et de la nature des matières premières sur lesquelles elles ont porté.

» Quel que soit l'avenir réservé au traitement électrique des produits de sucrerie, peut être n'aurons-nous pas fait œuvre d'inutilité en essayant de déterminer expérimentalement ses propriétés ; notre but était d'apporter un peu de clarté dans la nuit assez opaque dont il était enveloppé, nous serons satisfait si nous avons pu l'atteindre. »

Ainsi donc, comme nous le disions en débutant, les conclusions de M. Battut sont défavorables à l'emploi de l'électricité pour l'épuration des jus sucrés et peuvent être résumées, comme le faisait l'auteur dans sa communication orale, en ces quelques mots : l'épuration des jus sucrés par l'électrolyse est possible, mais elle coûte trop cher.

Mais la seconde partie de ces conclusions, la cherté de l'épuration par l'électrolyse, n'est pas admise par M. *A. Baudry* qui dans une communication sur une

Application du procédé Schlomeyer, Behm et Dammeyer

revendique en faveur de l'électrolyse l'avantage de rendre plus facile et plus rapide le travail et d'augmenter par suite le rendement de l'usine dans une notable proportion.

Cette application a été faite en 1894 aux sucreries de Stepanowska, en Russie. Tout d'abord, on n'employait, pour un traitement journalier de 6 300 hectolitres de jus, qu'un courant de 250 ampères, soit une densité d'environ 1 ampère par mètre carré d'électrodes. Déjà on remarquait une amélioration sensible dans le rendement. Avec un courant de 3 000 ampères les résultats obtenus furent meilleurs. Dans le but de rechercher l'intensité de courant la plus convenable une série d'essais, durant chacun une semaine, fut faite avec des intensités variables ; il a été reconnu qu'au delà de 1 000 ampères les résul-

tats favorables produits par l'électrolyse n'augmentaient plus guère. C'est cette intensité que l'on a dès lors adoptée avec une différence de potentiel de 5 volts et le traitement s'effectue de la façon suivante. Le jus sucré, préalablement dépulpé, est additionné de chaux dans la proportion de 2,5 gr de chaux par litre de jus ; ce jus passe dans des réchauffeurs puis dans des bacs électrolyseurs dans lesquels il est soumis à l'action du courant pendant 10 minutes ; il est ensuite envoyé aux chaudières de carbonatation ; la fabrication du sucre s'achève comme à l'ordinaire.

De très nombreux essais ont montré à M. Baudry que, quelles que soient la qualité des betteraves et la nature des terrains où elles étaient récoltées, l'application du procédé Schlomeyer donnait toujours une économie de 50 pour 100 pour la chaux employée. En outre, il a observé les avantages suivants : les produits électrolysés ne renferment plus de sels de chaux ; la carbonatation, qui exigeait auparavant 1 heure, peut être faite en 35 minutes ; elle s'effectue sans formation de mousse à la surface du jus, la durée de l'évaporation est également diminuée.

En résumé, l'application du procédé Schlomeyer dans les sucreries de Stépanowska a permis de faire une très notable économie sur la chaux et d'augmenter la production journalière de l'usine de 20 à 25 pour 100, avec une dépense comparativement très minime comprenant celle de la production d'une puissance de huit chevaux pour l'actionnement des dynamos et celle de l'achat des 30 kg de zinc qui sont journellement dissous dans les électrolyseurs.

Ces résultats, d'une très grande importance industrielle sont confirmés par un chimiste d'une raffinerie de Saint-Denis. Il était utile de les opposer aux conclusions des expériences de laboratoire de M. Battut.

Celui-ci fait toutefois observer qu'ils pourraient être dus aux propriétés épuratives de l'oxyde de zinc formé pendant l'électrolyse, propriétés épuratives beaucoup plus intenses que celles de la chaux, et non à une action directe de l'électrolyse. A cette remarque, M. Baudry répond que les nombreuses analyses chimiques qu'il a faites dans des conditions diverses ne lui ont pas permis de reconnaître par quel processus se produisent les avantages signalés plus haut ; ce qu'il peut affirmer c'est que ces avantages existent et qu'ils sont suffisamment sensibles pour que le directeur de l'usine s'aperçoive immédiatement d'une modification désavantageuse dans la marche des opérations lorsque, sans l'avoir averti, on supprime l'électrolyse.

M. Battut ayant parlé dans sa communication de

L'emploi d'électrodes en plomb dans l'électrolyse des jus sucrés,

M. *Peyrusson* proteste avec énergie contre l'emploi du plomb dans la fabrication d'un produit alimentaire.

Plusieurs membres lui faisant observer que les sels de plomb qui prennent naissance sont pour la plupart insolubles et que les sels en solution peuvent facilement être précipités par le gaz sulfureux ou l'acide phosphoreux, M. Peyrusson signale plusieurs exemples de l'action nocive de sels de plomb absorbés en quantités si minimes qu'elles n'étaient décelables par l'analyse et croît qu'il est du devoir de tout hygiéniste de s'opposer à l'emploi d'électrolyseur à lames de plomb.

Il propose d'ailleurs comme palliatif l'application de l'électrolyse indirecte : le jus sucré circulerait dans un compartiment central séparé par deux diaphragmes poreux des deux compartiments latéraux où seraient placées les deux électrodes.

Pour terminer cette longue discussion, indiquons

Quelques observations sur l'électrolyse des jus sucrés,

faites par M. *Dupont*, à propos de diverses questions.

M. Dupont dit avoir grande confiance dans

l'avenir de cette nouvelle application de l'électricité. Il résulte en effet de ses propres expériences, confirmées d'ailleurs par celles de M. Battut, que l'épuration des jus par électrolyse est parfaitement réalisable. La seule difficulté qui reste à vaincre est le prix trop élevé de ce mode de traitement ; il espère qu'elle finira par être résolue.

Le prix onéreux de l'épuration par électrolyse résulte pour beaucoup de la grande quantité d'énergie absorbée par la polarisation des électrodes ; en maintenant ces électrodes constamment très propres, on diminue considérablement la force électromotrice de polarisation et, par suite, l'énergie dépensée.

On a objecté que le traitement électrolytique des jus pourrait faire baisser leur teneur en sucre cristallisable par suite de la transformation de ce sucre en glucose. Il n'en est rien lorsqu'on emploie une anode soluble ; à la vérité, il se forme bien un peu de glucose lorsqu'on emploie une anode insoluble, par suite de l'action sur le sucre des acides mis en liberté à l'anode, mais il est facile d'obvier à cet inconvénient.

J. Blondin.

ORGANISATION
DE BUREAUX CENTRAUX TÉLÉPHONIQUES
DE LA MAISON NAGLO FRÈRES
SYSTÈME HESS-RAVEROT-WEST.

Parmi les points de vue auxquels on doit se placer pour apprécier une organisation téléphonique, la sûreté et la rapidité du service occupent les premières places ; ces deux facteurs rendent désirable, dans le service urbain, de pouvoir réunir tous les abonnés d'une ville dans un bureau central unique ; à un bien plus haut degré encore que l'intercommunication locale, les relations interurbaines exigent la réunion de tous les abonnés dans un bureau central, afin que dans l'occupation des lignes interurbaines coûteuses, la durée des opérations soit réduite à un minimum, et que l'utilisation des lignes soit la plus rationnelle possible.

Depuis un certain temps, de nombreux techniciens téléphonistes se sont donc posé le problème de créer des moyens de répondre à l'extension toujours croissante des grands réseaux téléphoniques par l'organisation de bureaux d'une capacité illimitée. On a d'abord essayé d'augmenter le nombre limite des lignes dans le système multiple, en construisant des jacks de plus petites dimensions dans le but de pouvoir loger un plus grand nombre de jacks dans les panneaux dont les dimensions sont déterminées par la taille du personnel desservant. De cette manière, il est devenu possible de porter à environ 10 000 le nombre des lignes reliées à un bureau du système multiple.

L'existence actuelle d'un certain nombre de réseaux encore plus grands rend cette solution insuffisante, et comme celle-ci implique des dangers pour la bonne qualité du service, elle ne peut être considérée que comme un pis-aller provisoire.

Le problème a été abordé plus efficacement par d'autres qui ont cherché dans des *principes* nouveaux les moyens d'augmenter le nombre possible des lignes d'un bureau ; à cette catégorie appartiennent le système de *Siemens et Halske*, celui de *Engelmann*, un autre, parent du précédent et mis en pratique à Albany sous le nom de *divided board system*, enfin, l'*express-system* en service à San Francisco depuis plus d'un an. Ces dispositions, plus ou moins divergentes du système multiple pur, permettent de réunir dans un même bureau un nombre d'abonnés beaucoup plus grand que celui mentionné plus haut ; mais elles impliquent toutes l'obligation d'opérer les mises en communication et les ruptures en *deux endroits* séparés — pareillement au cas où deux ou plusieurs bureaux multiples séparés existent dans une ville — et elles n'offrent donc généralement, en ce qui concerne le service, pas d'avantages suffisants

pour justifier l'abandon de l'économie en lignes que présente l'organisation de plusieurs bureaux ; dans des conditions particulières, ces systèmes peuvent toutefois rendre de bons services.

Une solution heureuse et rationnelle a été apportée par MM. G. A. Hess et P. E. Raverot, à Paris, qui ont indiqué un nouveau montage pour bureaux téléphoniques basé sur le principe arithmétique des combinaisons ; dans ce montage de combinaison, une communication n'est *effectuée et rompue* qu'en un *endroit unique*, ce qui réalise le perfectionnement recherché par la centralisation en un bureau.

Le schéma du montage de combinaison Hess-Raverot est représenté par la figure 1 : les abonnés sont répartis en groupes qui peuvent être provisoirement désignés par les lettres de l'alphabet ; comme on le verra plus loin, les groupes peuvent embrasser chacun environ 700 à 2000 lignes. Chaque groupe est représenté par un certain nombre de panneaux de jacks contenant chacun un jack par abonné du groupe, et ces panneaux sont combinés deux à deux pour constituer des *tableaux commutateurs*. Si l'on a, par exemple, 4 groupes *a b c d* et si les tableaux commutateurs sont alignés en une série, on obtient la succession suivante :

ab ac ad bc bd cd

Les lignes du groupe *a* étant montées en multiple passant dans les panneaux *a*, celles du groupe *b* passant en multiple le long des panneaux *b*, les tableaux commutateurs représentés par la précédente série de lettres offrent la possibilité de réunir directement deux abonnés quelconques. Si, par exemple, *a* N° 406 veut communiquer avec *c* N° 23, la mise en relation est opérée à l'aide d'une paire de cordes au tableau *ac*, et si *a* N° 406 veut parler à *e* N° 904, la connexion s'effectue au tableau *ae*.

Des tableaux commutateurs, les lignes vont aux *tableaux annonciateurs*, où elles sont représentées chacune par un jack local et un annonciateur d'appel, les jacks et annonciateurs d'un groupe formant un tableau divisé en plusieurs places d'opérateurs. Un employé du tableau annonciateur peut donc, à la chute d'un volet d'annonciateur, se mettre en relation avec l'abonné correspondant p. ex. *a* N° 406 et recevoir son ordre p. ex. *c* N° 23 ; son devoir est alors de transmettre cet ordre à celui des tableaux commutateurs qui est seul à même d'effectuer la liaison désirée. Dans le cas actuel, c'est le tableau *ac* qui est ainsi désigné ; la transmission ou le renvoi de l'ordre « c_{23} avec a_{406} » s'effectue téléphoniquement, après quoi l'employé du tableau *ac*

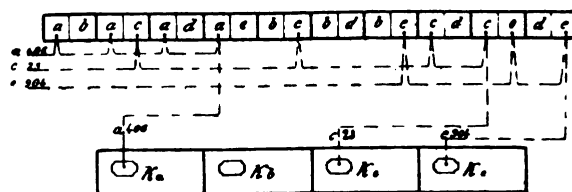


Fig. 1. — Schéma du montage de combinaison Hess-Raverot.

opère la mise en communication de la manière usuelle et la rompt à la fin de la conversation.

Le nombre de groupes peut naturellement être élevé à volonté sans changer le fonctionnement ; le système admet donc, avec un service rationnel et rapide, la construction de bureaux d'une capacité quelconque, jusqu'à 50 000 abonnés et plus.

Ce montage offrait *a priori* des avantages si essentiels, qu'il m'a semblé utile d'agir en vue de son adoption ; en le prenant pour base, j'ai donc élaboré avec la maison Naglo frères un système d'après lequel un petit bureau d'essai est organisé à l'Exposition industrielle de Berlin 1896 ; d'après les dispositions de ce bureau d'essai, nous allons décrire ci-après le système.

Si l'on considère la série de tableaux commutateurs mentionnée plus haut comme une série continue de panneaux de jacks juxtaposés :

a b a c a d b c b d c d

on voit que chaque lettre existe *deux fois* à

côté de chacune des autres ; au commencement de la série, on a par exemple *ab* et *ba*, puis *ac* et *ca* ; les communications peuvent donc être établies en deux endroits, ce qui est superflu ; on peut donc éliminer de la dite série plusieurs lettres, comme l'avaient déjà proposé Hess et Raverot, et l'on obtient ainsi la série suivante :

a b c a d b c d,

dans laquelle chaque lettre ne se présente *qu'une fois* à côté de chacune des autres. Pour un bureau avec 5 groupes on a la série :

a b c a d b e c d e a

dérivée de la précédente en intercalant un *e* entre le second *b* et le second *c* ; il faut, dès l'abord, tenir compte de cette circonstance en vue des extensions ultérieures, et disposer pour 4 groupes la série :

a b c a d b — c d,

où le panneau de jack représenté par le tiré — reste provisoirement inoccupé, pour recevoir ultérieurement les jacks du groupe *e*. Pour un bureau de 10 groupes, la série s'écrit :

a b c a d b e c d e a f b g c f d g e f g a h b i c h d i c
h f i g h i a k b — c k d — e k f — g k h — i k,

et on a prévu l'emplacement nécessaire pour un 11[e] groupe *l*, de sorte que le développement du bureau ne souffre pas de difficulté.

Cette suite de panneaux de jacks implique que la totalité des lignes d'abonnés soient conduites le long de la série de tableaux. Sous ce rapport on atteint bientôt une limite supérieure à laquelle ce mode d'installation n'est plus possible, le nombre des câbles passant derrière les tableaux devenant trop grand et leur longueur trop considérable. Quand cette limite est atteinte, l'installation suivante présente des commodités suffisantes pour la pose des câbles. L'installation primitive Hess-Raverot pour grands bureaux était la suivante :

ab	*ac*	*ad*	*ae*	*af*	*ag*
	bc	*bd*	*be*	*bf*	*bg*
		cd	*ce*	*cf*	*cg*
			de	*df*	*dg*
				ef	*eg*
					fg

où les câbles du groupe *a* parcourent la rangée de tableaux supérieure, tandis que par exemple les câbles du groupe *c*, dont le parcours est indiqué par la ligne, passent dans le deuxième tableau de la première rangée, puis dans le premier tableau de la deuxième rangée, enfin le long de la troisième rangée de tableaux. Dans cette installation on a, toutefois, le désavantage déjà mentionné, que toutes les places d'opérateur existent en *double* ; cet inconvénient est facile à éliminer, quand dans chaque rangée horizontale on ne combine pas *une seule lettre*, *mais deux* avec les autres, suivant le schéma ci-dessous :

a b c a d b e a f b g a

c d e c f d g c

e f g e

Pour 20 groupes, *a* à *u*, on arrive ainsi à l'installation suivante qui permet un parcours simple des câbles (voir tableau I).

Le schéma général du montage d'un bureau avec 4 groupes est représenté par la figure 2. Le bureau se compose des tableaux commutateurs, où s'effectuent les liaisons, des tableaux annonciateurs qui reçoivent les appels, — des panneaux de relais occupés par les annonciateurs d'appel montés en relais, — et d'un panneau de lampes à incandescence, qui indique par des signaux visibles l'état d'occupation des lignes.

La ligne double d'un abonné du groupe *a* parcourt d'abord les deux panneaux *a a* de la série des tableaux commutateurs, les ressorts de jacks étant montés en série pour la ligne d'aller, comme le montre le schéma, et en dérivation pour la ligne de retour. Des tableaux commutateurs, la ligne conduit au tableau annonciateur du groupe correspondant (*a*), où elle est reliée à un jack semblable ; elle se rend ensuite dans le tableau des relais au relai d'appel R dont la disposition est analogue à celle de l'annonciateur à relèvement automatique de la Western Electric C°. L'armature antérieure *a*, de ce relais peut occuper trois positions : la position (moyenne) de repos représentée, la position de travail, dans

laquelle le ressort f s'appuie sur le contact inférieur c_1, et la position de relèvement, dans laquelle f s'appuie sur c_2. Dans la position de travail, f ferme le circuit d'une lampe à incandescence (¹) g_{406} placée sur le tableau annonciateur ; dans la position de relèvement, le circuit complété par f est celui d'une lampe à incandescence de même numéro (g_{406}) dans le tableau des lampes qui, ainsi qu'on l'a fait remarquer, indique d'une façon visible pour le bureau entier, si les lignes d'abonnés sont libres ou occupées.

A côté des fils L_1 L_2 de la ligne téléphonique de l'abonné il existe une troisième ligne L_3 partant de la bobine de relèvement e_1 du relais d'appel et reliée par des dérivations au ressort de contact f_4 de tous les jacks de la ligne d'abonné. Une dernière ligne L_4, commune à tous les jacks du bureau entier, est reliée d'une part aux ressorts f_1 des jacks, et d'autre part, au delà de la batterie de relèvement A B, aux différents relais.

Le fonctionnement se déroule ainsi :

Quand l'abonné a N° 406 envoie son courant

TABLEAU I

```
a a b c a d b e a f b g a h b i a k b l a m b n a o b p a q b r a s b t a u b b
          c c d e c f d g c h d i c k d l c m d n c o d p c q d r c s d t c u d d
                    e e f g e h f i e k f l e m f n e o f p e q f r e s f t e u f f
                              g g h i g k h l g m h n g o h p g q h r g s h t g u h h
                                        i i k l i m k n i o k p i q k r i s k t i u k k
                                                  l l m n l o m p l q m r l s m t l u m m
                                                            n n o p n q o r n s o t n u o o
                                                                      p p q r p s q t p u q q
                                                                                r r s t r u s s
                                                                                          t t u u
```

d'appel, l'électro e_2 attire son armature a_2, déclenchant ainsi l'armature antérieure a_1, provoquant la chute de celle-ci, et fermant le circuit de la lampe à incandescence g_{406} du tableau annonciateur. Averti par l'allumage de la lampe, l'employé insère dans le jack de même numéro 406 la fiche à trois conducteurs S reliée à son appareil téléphonique T (téléphone, microphone, etc.). Il est ainsi en communication directe avec l'abonné, la base k de la fiche venant toucher le massif h du jack la pointe s touchant le ressort f_2, et ce dernier étant soulevé et séparé de f_3 ; cette dernière rupture de contact exclut du circuit de conversation l'électro d'appel e_2 du relais, mais simultanément se trouve fermé le circuit local de l'électro de relèvement e_1, parce que la bague isolée r de la fiche S fait communiquer entre eux les ressorts f_1 et f_4 du jack.

Il en résulte que e_1 attire son armature a_1, rompt ainsi le circuit de la lampe g_{406} du tableau annonciateur et ferme le circuit de la lampe correspondante (g_{406}) au tableau des lampes. Celle-ci est donc allumée tant que ce jack ou tout autre de la ligne est occupé par une fiche, et elle indique par conséquent que la ligne a N° 406 est occupée.

Après l'insertion de la fiche, l'employé pré-

(¹) La figure 1 porte par erreur g_{12} au lieu de g_{406}, et a_{12} au lieu de a_{406}.

vient comme d'habitude l'abonné appelant, lequel indique le numéro de l'abonné demandé, soit par exemple *c* n° 23. L'employé regarde alors par dessus son tableau le panneau des lampes afin de s'assurer si la ligne demandée est libre ou non ; dans le premier cas la lampe n° 23 dans le panneau *c* ne doit pas être allumée.

En cas d'occupation de la ligne, l'employé répond : « Ligne *c* n° 23 occupée », et retire sa fiche, opération qui a pour conséquence d'interrompre le circuit local de l'électro de

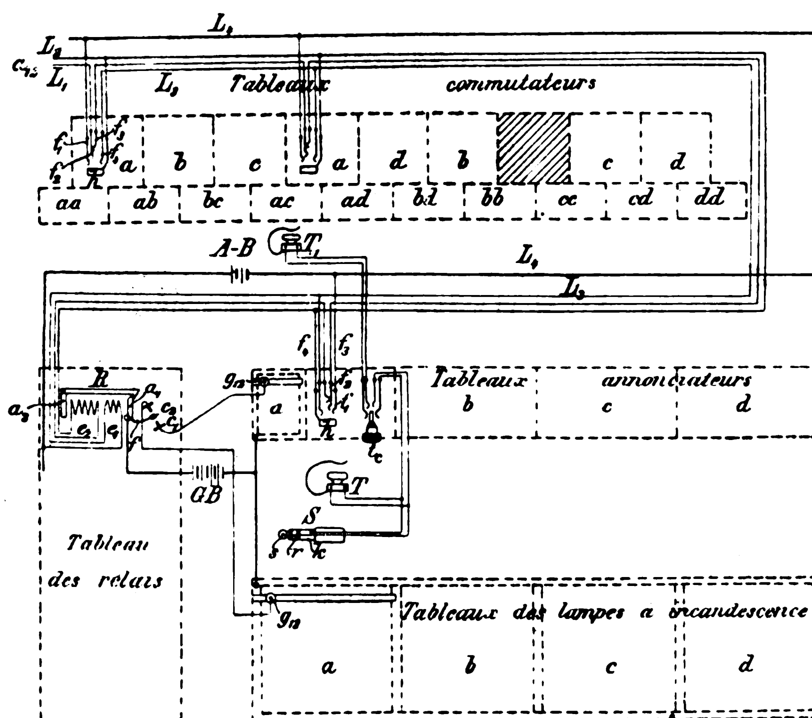


Fig. 2. — Schéma général du montage d'un bureau avec quatre groupes.

relèvement e_1 et de faire tomber l'armature a_1 dans la position représentée sur la figure ; il en résulte l'extinction de la lampe g_{106} du tableau de lampes.

En cas de non-occupation de la ligne, l'employé doit renvoyer l'ordre de communication à celui de ses collègues qui est seul à même de l'exécuter ; pour ce faire il possède à sa place de travail un certain nombre de clefs d'écoute, qui lui permettent de se relier téléphoniquement à ceux des employés qui peuvent réaliser les communications de son groupe (*a*) avec les autres groupes, soit avec les employés *aa*, *ab*, *ac*, *ad* ; les clefs d'écoute correspondantes sont désignées par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*.

Dans le cas actuel, l'employé appuie sur la clef *c* — appelée t_c dans la figure — et transmet immédiatement l'ordre : *c* n° 23 avec *a* n° 406, après quoi l'employé commutateur relie directement à l'aide d'une paire de cordes les deux lignes désignées. Dans cette opération, les relais correspondants sont comme précédemment exclus du circuit de conversation et les lampes correspondantes du tableau de lampes s'allument. A l'arrivée du signal de fin de conversation la rupture de la liaison, opérée comme d'habitude, fait éteindre les lampes.

Il apparaît immédiatement qu'il faut faire les groupes le plus grands possible, puisque leur nombre ainsi que celui des panneaux de

jacks nécessaires sont d'autant plus petits. Mais le nombre des abonnés d'un groupe est limité par cette considération, qu'un seul employé puisse se charger de toutes les communications entre deux groupes dépend par conséquent : 1° du nombre des communications simultanées à l'heure la plus chargée de la journée; 2° du nombre de communications qu'un employé peut effectuer pendant la durée moyenne d'une conversation. Le premier de ces facteurs ne peut être modifié par la disposition matérielle ; par contre, le second facteur dépend à un haut degré de la construction et du fonctionnement du système, circonstance qui conduit à rendre aussi simple et rapide que possible le service des cordes de liaison.

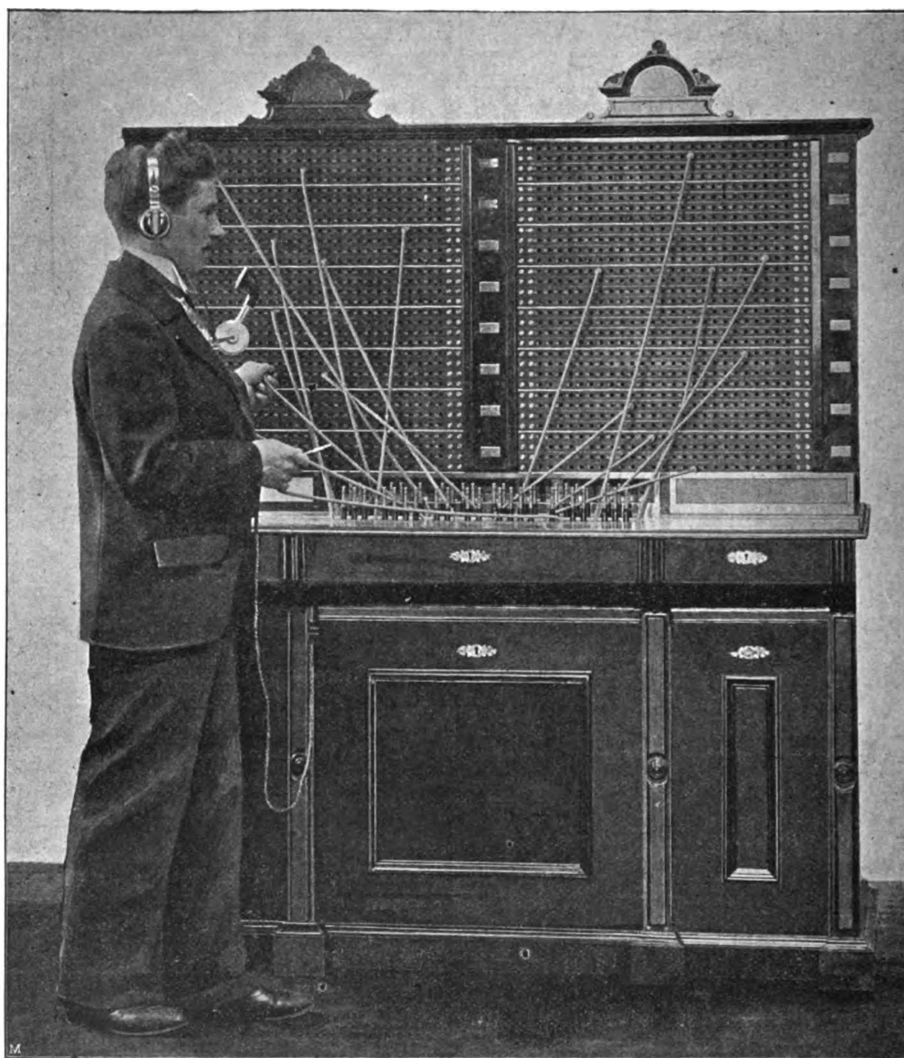


Fig. 3. — Vue d'un tableau commutateur.

Cette condition est observée dans le présent système par l'emploi de dispositifs automatiques qui effectuent à l'instant voulu et sans l'intervention de l'employé quelques-unes des opérations se répétant à chaque mise en communication, de façon que les manipulations de l'employé se réduisent à insérer les fiches

dans les jacks et à les en retirer. Avec un service aussi simple, un employé peut facilement desservir 30 paires de fiches.

En partant de ce nombre, l'étendue des groupes s'ensuit ainsi : Un bureau de 10 000 abonnés, sur un réseau de trafic actif, nécessite 1300 paires de cordes, y compris la réserve voulue, pour suffire au service à l'heure la plus chargée de la journée. Si, d'après le système que nous décrivons, nous répartissons les 10000 abonnés en 10 groupes de 1 000 abonnés, nous obtenons suivant la série de tableaux commutateurs précédemment indiquée, 44 places de travail, pourvues chacune de 30 paires de cordes, et donnant par conséquent un total de 1320 paires de cordes, nombre suffisant pour le service, de sorte qu'il est possible de comprendre dans chaque groupe 1000 abonnés. Ce nombre variera naturellement suivant les conditions locales du trafic ; en général, il paraît devoir osciller entre 700 à 2000, les groupes pouvant être plus importants dans les réseaux plus grands. En effet, on peut dire qu'en général le développement du trafic n'est pas aussi rapide que l'accroissement d'un réseau, mais reste toujours un peu en arrière par rapport à celui-ci.

L'installation d'essai dont il est question ici contient dans chaque groupe 800 abonnés. La figure 3 montre la première place d'opérateur *ab* formant le commencement de la série de tableaux commutateurs, avec une tablette recevant 30 paires de fiches et deux panneaux de jacks *a* et *b* contenant chacun 800 jacks. La largeur d'une place de travail permettant une complète liberté de mouvement des employés voisins détermine les dimensions du meuble ; la largeur d'une place d'opérateur est de 65 cm. Etant donnés cette largeur et le petit nombre de jacks de chaque panneau, les jacks sont très écartés les uns des autres, ce qui constitue à divers points de vue techniques un avantage essentiel. Les différentes bandes de 25 jacks sont séparées par de minces lames de bois jaune, et les centaines de jacks sont séparées par des lames plus épaisses de bois blanc, ce qui facilite considérablement l'orientation.

La construction d'une bande de jacks est

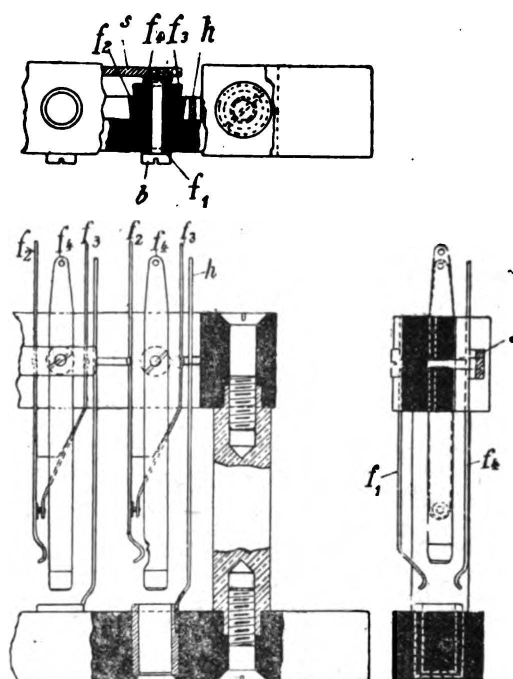


Fig. 4. — Détails d'une bande de jacks.

représentée par la figure 4. Les ressorts f_1 et f_2 formant l'unique contact à rupture sont dans un plan vertical et armés de platine ; le contact est, en outre, à frottement, le ressort f_1 s'incurvant quand on soulève f_2. On prévient ainsi dans la mesure du possible les dérangements de contact. La bande métallique *s* correspond à la ligne commune L_1 de la fig. 2.

La fiche est représentée par la figure 5, dont on comprendra les détails sans autre explication.

Les dispositifs automatiques mentionnés plus haut se composent d'un jeu de leviers pour le relèvement automatique de l'annonciateur de fin de conversation et d'un commutateur, qui entre en action quand la fiche est insérée dans la ligne demandée et qui envoie dans celle-ci pendant 4 secondes environ un courant d'appel. Ces deux dispositifs sont

indiqués dans le schéma figure 6. La fiche antérieure S_1 d'une paire de fiches repose sur un levier à deux bras H_1 mobile autour de l'axe i_1 et dont l'extrémité antérieure (de droite) porte un doigt d'arrêt z en saillie latérale ; sur l'axe a, qu'un petit moteur fait tourner lentement et d'une façon continue — cet axe fait dans le sens de la flèche un tour en 5 secondes environ, — sont montés à frottement doux deux disques solidaires s_1 s_2, qui tendent à être entraînés dans la rotation.

Tant que H_1 occupe la position représentée,

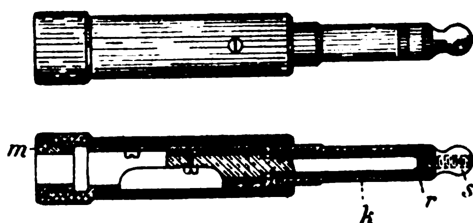


Fig. 5. — Détails d'une fiche.

cette rotation est empêchée par ce fait que le taquet o du disque s_2 bute contre le doigt z. Quand la fiche S_1 est soulevée, le levier H_1 tourne de façon que le doigt z s'abaisse jusqu'à ce qu'il rencontre le disque s_1. Le taquet o devient libre et les deux disques s_1 s_2 suivent le mouvement de rotation de a. Il en résulte que les ressorts de contact f_3 f_4 sont abaissés, de sorte que f_1 f_2 viennent toucher les contacts de pile c_1 c_2, tandis que les contacts entre f_1 et f_3 et entre f_2 et f_4 sont rompus ; la batterie B envoie donc par le commutateur bipolaire P W un courant d'appel dans la ligne occupée par la fiche. Ce courant dure environ 4 secondes, jusqu'à ce que les disques soient arrivés au point où la pièce isolante entre f_3 et s_2 retombe dans le cran d'arrêt de s_2, les contacts revenant alors à leur position primitive. Un instant plus tard le cran e atteint le doigt z, et les disques s_1 s_2 se trouvent ainsi calés. A la fin de la conversation, la fiche S_1 retombe sur le levier H_1 qui revient dans la position représentée sur le schéma et décale les disques s_1 s_2 qui tournent d'un petit angle jusqu'à ce que le taquet rencontre à nouveau le doigt z.

On voit dans la figure 7, qui représente le tableau commutateur à tablette de fiche ouverte, le mode d'exécution de ce dispositif. A droite, s'aperçoit le petit moteur en dérivation qui actionne l'axe du commutateur par l'intermédiaire d'une double corde et d'une chaîne de transmission. Cet axe porte les disques correspondant aux 30 paires de cordes, et tourne dans deux chaises montées avec les supports des 30 leviers sur une plaque métallique fixée à la tablette des fiches. Au lieu d'être montées à frottement doux, les disques sont couplés avec l'axe par un simple accouplement à roue dentée. Devant les cordes, on voit les pièces de contact désignées sur la figure 6 par f_1, f_2, f_3, f_4, c_1 et c_2, ainsi que les fils de communication. Pour assurer le jeu régulier et précis des contrepoids à poulies, on a intercalé entre les différentes paires de cordes des parois de séparation en tôle.

Le dispositif de relèvement de l'annonciateur de fin de conversation SK (fig. 6) se compose d'un levier coudé H_2 mobile autour de i_2 et d'un levier à deux bras h enclenché avec le premier et mobile autour de i_3. Quand on soulève S_2, le bras droit de H_2 est soulevé et le bras gauche tourne à droite. Au reçu du signal de fin de conversation, le volet a_2 tombe en avant et vient buter contre h. La fiche S_2 retirée du jack retombe sur le levier H_2 et le ramène, ainsi que h et a_2, dans leur position de repos.

Le tableau annonciateur (fig. 8) est disposé en places d'opérateurs de 200 abonnés ; chaque place d'opérateur comporte un panneau de 200 lampes à incandescence et, au-dessous, un panneau de 200 jacks ; à gauche de chaque panneau de jacks sont disposées trois clés d'écoute pour les lignes conduisant aux places de travail *a b*, *a c* et *a d* des tableaux commutateurs.

Les lampes à incandescence sont réparties en rangées de 20 ; chacune est abritée par un tube de laiton, dont l'ouverture antérieure est fermée par une plaque de verre vert foncé ; la paroi intérieure de cette plaque est recouverte d'une épaisse couche de peinture

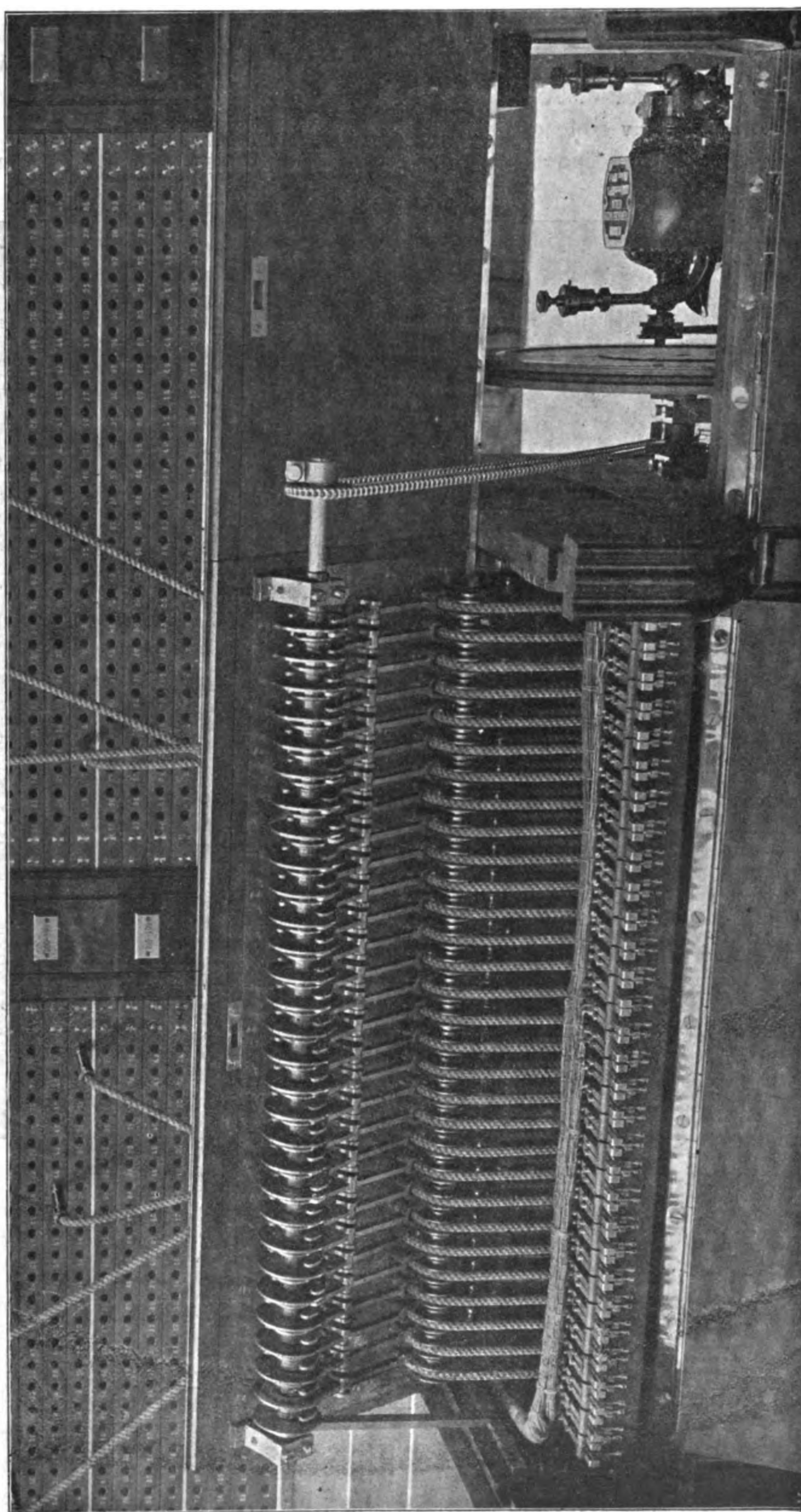


Fig. 7. — Vue intérieure d'un tableau commutateur.

blanc mat dans laquelle est découpé un chiffre et qui est, en outre, recouverte d'un disque de papier blanc parcheminé. Avec cette disposition, le chiffre est invisible quand le disque de verre n'est éclairé que par devant ; il apparaît, au contraire, en vert sur fond sombre quand la lampe est allumée, la couche de peinture ne laissant pas passer de lumière.

Les 20 lampes d'une rangée sont fixées sur

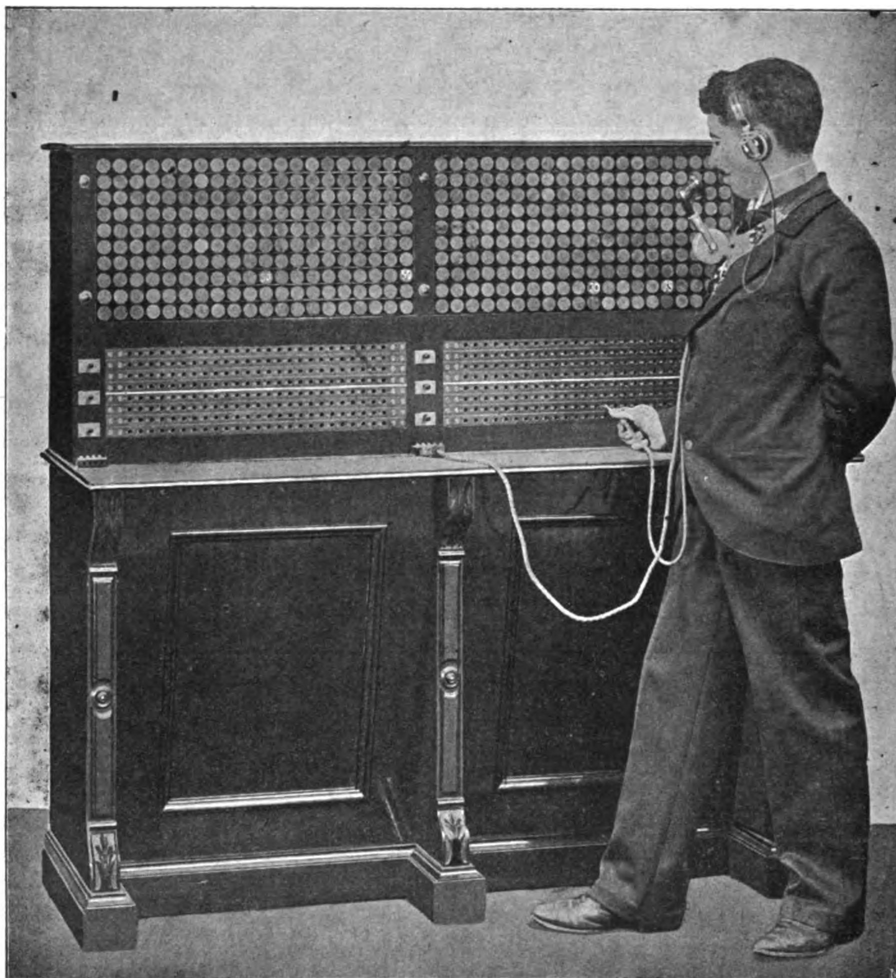


Fig. 8. — Vue d'un tableau annonciateur.

une bande de fer commune (voir fig. 9) reliée à la barre de retour r commune aux dix rangées de lampes et en relation avec un pôle de la batterie. Dans le fil de communication est intercalée une lampe-signal qui s'illumine dès qu'une ou plusieurs des 200 lampes d'abonnés sont allumées ; l'employé n'est donc pas obligé de surveiller continuellement le panneau de lampes entier, il lui suffit d'observer la lampe-signal qui indique l'arrivée d'un appel ; cette disposition est surtout avantageuse quand, pendant les heures les moins chargées de la journée et pendant la nuit, un seul employé dessert plusieurs sections de travail.

Derrière la bande de fer est fixée une baguette en bois L qui porte les ressorts de contact f pour le second pôle des lampes. Le tube R est monté à baïonnette sur le culot métallique m de la lampe, et peut donc être

enlevé facilement par devant en cas de remplacement d'une lampe devenue défectueuse ; il n'y a aucun danger à toucher ce tube, les lampes fonctionnant avec 4 volts.

L'appareil téléphonique de l'opérateur, qui se compose, comme on le voit figure 3 et 8, du téléphone à ressort serre-tête et du microphone de poitrine d'Ericsson, à Stockholm et qui laisse à l'employé toute liberté de mouvement, sera décrit dans un article ultérieur sur le nouveau bureau téléphonique de Christiania.

Le tableau des lampes (fig. 10) est divisé en panneaux de 100 lampes ; 4 panneaux seulement, sur les 8 prévus, sont garnis. A titre comparatif, trois panneaux ont reçu des verres à numéros blancs, le quatrième des verres verts ; cette dernière couleur paraît toutefois plus avantageuse que le blanc. Ces lampes à incandescence sont disposées comme celles du tableau annonciateur.

Les relais de chaque groupe sont installés dans des armoires à deux compartiments à portes vitrées, pour mettre les contacts à l'a-

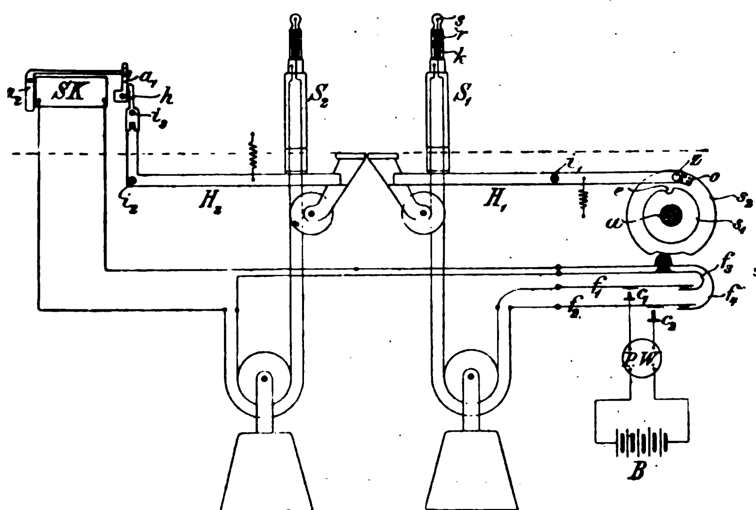


Fig. 6. — Schéma des dispositions automatiques.

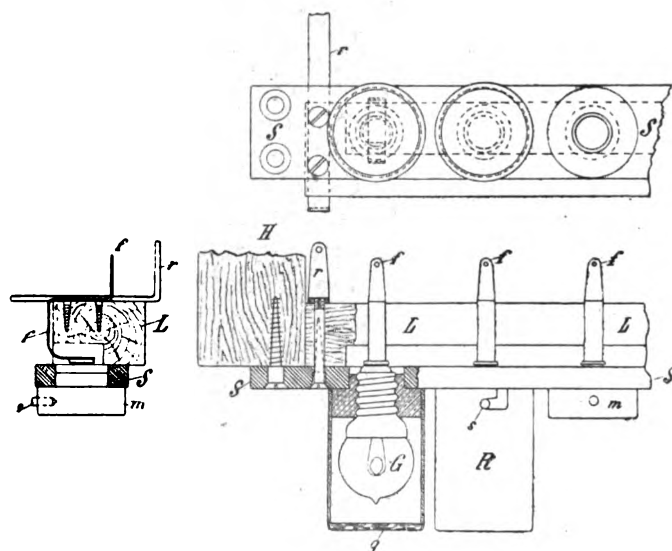


Fig. 9. — Montage des lampes à incandescence.

bri de la poussière. Suivant la figure 11, les relais sont montés par 10 sur des planchettes amovibles. Le réglage et le nettoyage éventuel des contacts peuvent s'effectuer en place. Les fils de liaison visibles sur la figure, installés provisoirement, sont destinés à être remplacés par des contacts entre lames de ressort, afin de permettre le remplacement en quelques secondes des planchettes. Les ressorts postérieurs sont fixés sur la paroi de fond de l'armoire, tandis que les câbles de conducteurs longent le fond extérieurement.

Ainsi qu'il résulte du fonctionnement du système, le travail des employés se compose des opérations suivantes :

A. Cas d'occupation de la ligne demandée.

Au tableau annonciateur *a* :

1. Première manipulation : Insertion de la fiche dans le jack de l'abonné appelant 406.

2. Réponse : Voilà. — Réception du numéro de ligne *c* 23 demandé. — Essai de l'état de la ligne *c* 23 par l'observation du tableau des lampes et annonce : ligne *c* 23 occupée.

3. Seconde manipulation : Débloquage du jack 406 par l'enlèvement de la fiche.

B. Cas d'inoccupation de la ligne demandée au tableau annonciateur *c* :

1. Première manipulation : Insertion d'une fiche dans le jack de l'abonné appelant 406.

2. Réponse : Voilà. Réception de la demande de mise en relation avec *c* 23. Essai, par l'inspection du tableau de lampe, si la ligne *c* 23 est libre ou non.

3. Deuxième manipulation : Manœuvre de

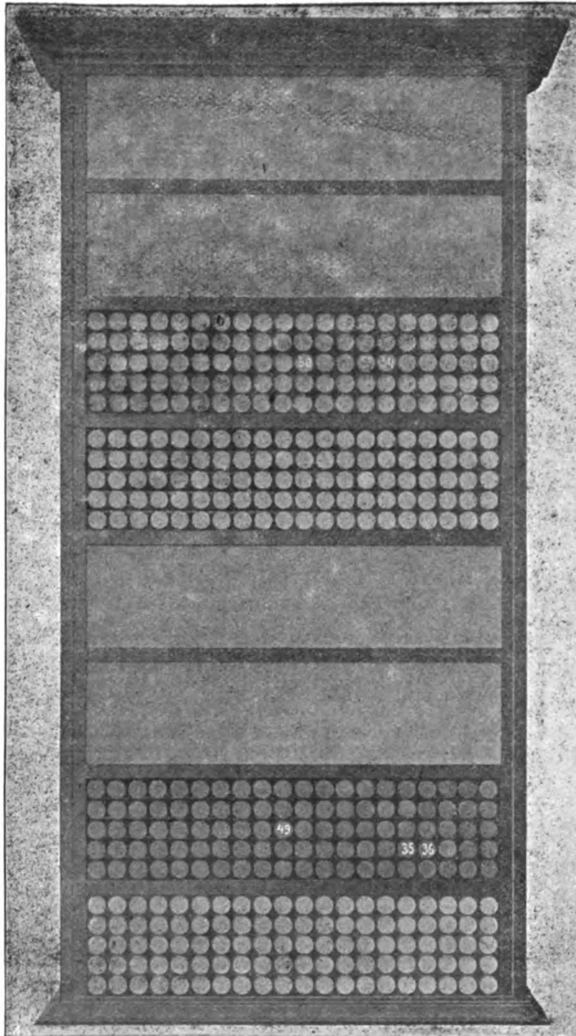


Fig. 10. — Vue d un tableau de lampes.

la clef d'écoute *a* et renvoi à l'employé *a c* de l'ordre : *a* 406 avec *c* 23.

4. Troisième manipulation : Débloquage du jack 406.

Au tableau commutateur *a c* :

5. Quatrième manipulation : Insertion d'une fiche dans le jack *a* 406.

6. Cinquième manœuvre : Insertion de la seconde fiche dans le jack *c* 23.

7. Sixième manipulation : Débloquage du jack *c* 23.

8. Septième manipulation : Débloquage du jack *a* 406.

Les manipulations A 3 d'une mise en communication et A 1 de la suivante se résolvent dans la pratique en une seule, de même pour B 4 et B 1 ; le service au bureau consiste donc, lorsque la ligne demandée est libre, en *six manipulations pour l'établissement et la rupture d'une communication,* et lorsque la ligne demandée est occupée en *une seule manipulation.*

De plus, l'exécution précise du service est assurée par un moyen de contrôle existant pour chaque opération. Si dans les manipulations A 1 et B 1 l'employé se trompe de jack, la lampe d'appel allumée ne s'éteint pas, ce qui attire immédiatement l'attention de l'employé et lui évite de perdre son temps à annoncer sa présence à une ligne inactive.

Pendant la manipulation B 3 l'abonné reste en circuit, et il entend par conséquent la transmission de l'ordre, dont il peut donc vérifier l'exactitude et empêcher le cas échéant l'exécution d'une fausse manœuvre, en signalant l'erreur et répétant l'ordre primitif ; les deux employés sont simultanément témoins de ces échanges d'ordres téléphoniques.

L'employé ayant reçu l'appel peut en outre contrôler si son collègue du tableau commutateur a bien exécuté l'ordre transmis *a* 406 avec *c* 23, car dans ce cas, la lampe *c* 23 au tableau des lampes doit s'allumer, et d'autre part la lampe *a* 406 déjà allumée ne doit pas s'éteindre, quand il retire sa fiche du jack *a* 406.

Les groupes ont été jusqu'à présent désignés par les lettres de l'alphabet ; mais comme certaines consonnes telles que *b*, *p*, *v* — *m*, *n* — *d*, *t*, *c*, etc. se distinguent difficilement les unes des autres au téléphone, il faut remplacer les lettres par des mots courts et marquants commençant par la lettre en question.

En ce qui concerne l'installation des ta-

bleaux, il est évident que seuls les tableaux de lampes et les tableaux annonciateurs doivent nécessairement occuper le même local, tandis que les autres parties de l'installation peuvent être logées dans des locaux différents. Pour les grands bureaux il sera recommandable de prévoir une salle pour les tableaux annonciateurs, les tableaux de lampes et les tableaux de relais, et une salle pour les tableaux commutateurs.

Pour un bureau de 40 000 abonnés, les tableaux annonciateurs exigent une salle hexagonale d'environ 18 m de diamètre ; les tableaux annonciateurs sont installés en quatre

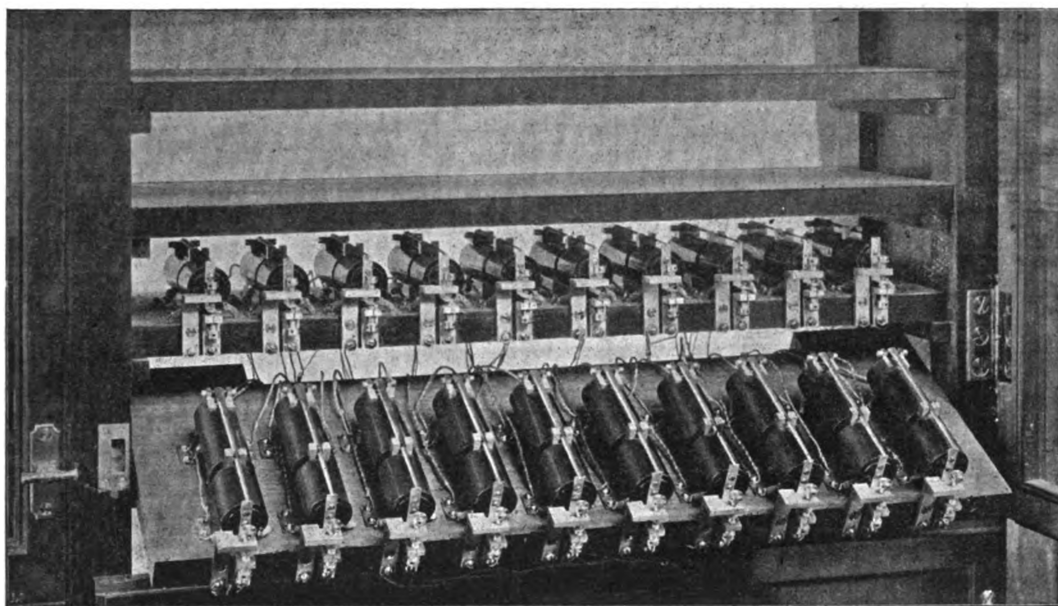


Fig. 11. — Disposition des relais.

rangées parallèles aux murs, avec des différences de niveau d'un mètre d'une rangée à l'autre en montant vers le centre de la salle ; les employés, qui tournent le dos au centre de la salle ont donc la vue complètement libre sur la partie des murs qui leur fait face. Les six pans de mur sont couverts de 4 tableaux de lampes complets, de façon que chaque tableau à 40 000 lampes occupe un pan et demi (on a donc quatre lampes en série dans chaque circuit). Dans cette disposition, la plus grande distance qui sépare un employé de la lampe la plus éloignée qui l'intéresse n'est que de 9 m, et à cette distance les signaux sont parfaitement reconnaissables.

Dans l'installation de tableaux commutateurs indiquée 266 pour 20 groupes on obtient 211 places d'opérateurs ; chacune comportant 30 paires de cordes, on a au total 6330 paires de cordes, nombre suffisant même en tenant compte du trafic plus considérable entre 40 000 abonnés. Ce nombre divisé en 20 groupes donne environ 2000 abonnés par groupe.

i a k b l a m b n a o b p a q b r a s b t a u b b

i c k d l c m d n c o d p c q d r c s d t c u d d

i e k f l e m f n e o f p e q f r e s f t e u f f

i g k h l g m h n g o h p g q h r g s h t g u h h

i i k l i m k n i o k p i q k r i s k t i u k k

l l m n l o m p l q m r l s m t l u m m

i h g g n n o p n q o r n s o t n u o o

i f h e g f e e p p q r p s q t p u q q

i d h c g d f c e d c c r r s t r u s s

i b h a g b f a e b d a c b a a t t u u

Les tableaux commutateurs représentés par le tableau p. 266 lorsqu'on en sépare la partie se trouvant à gauche du trait vertical et lorsqu'on la reporte dans le bas du schéma, comme dans le tableau de la page précédente exigent une salle d'environ 18 mètres sur 20.

Les locaux accessoires sont de peu d'importance et se réduisent à un local pour les accumulateurs, les tableaux de relais pouvant être établis le long des murs de la grande salle, au dessous des tableaux de lampes.

Ces exigences modérés quant aux locaux occupés contrastent avantageusement avec les conditions à remplir dans les bureaux d'après le système multiple. En ce qui concerne le coût de l'installation, on peut faire remarquer que l'organisation d'un seul bureau pour 40 000 abonnés est moins coûteuse que celle de 7 bureaux du système multiple, dont 5 à 6000 abonnés et 2 à 5000. Le nombre des jacks ressort pour le grand bureau unique à 500 000 à peine, pour les 7 petits bureaux, au contraire, à environ 2 500 000. Le nombre des employés travaillant simultanément devient de 411 au maximum contre 1 000 à 1200 dans le système multiple, quand on prend pour base de comparaison la répartition du travail appliquée à Berlin (66 à 67 abonnés ou 10 à 12 lignes de renvoi par place d'opérateur).

Jul. H. West

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Electrolyse des sulfures métalliques Siemens (1896)

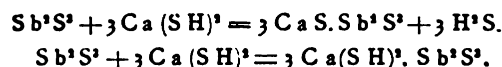
On a en général employé les deux méthodes suivantes pour l'électrolyse des sulfures métalliques donnant des doubles sels solubles avec les sulfures et sulfhydrates alcalins (sulfures d'arsenic, d'antimoine, de mercure).

1° Décomposition électrolytique de ces sels doubles sans diaphragme avec renouvellement continu du bain d'extraction (sulfure alcalin) et formation de sous-produits (hyposulfites alcalins) dont la vente couvre en partie les frais du procédé.

2° Décomposition des sels doubles dans le compartiment cathode d'un électrolyseur à diaphragme régénérant le bain mais avec pertes par oxydation à l'anode.

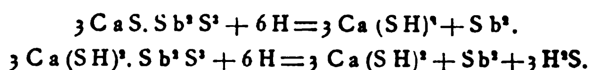
Or les sulfhydrates et les sulfures alcalins, ainsi que ceux de Ca, Ba, Sr, Mg, peuvent former, dans certains cas, des sulfures doubles d'antimoine, de mercure et d'arsenic avec l'avantage que les corps précipités par l'électrolyse sans diaphragme peuvent être régénérés sans l'emploi de matières nouvelles et réintégrés dans la circulation.

Prenons comme exemple le traitement du sulfure d'antimoine dans un bain de sulfhydrate de chaux, il se produit la réaction :



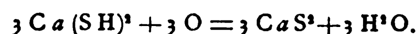
$$Sb^2S^3 + 3\,Ca(SH)^2 = 3\,CaS.Sb^2S^3 + 3\,H^2S.$$
$$Sb^2S^3 + 3\,Ca(SH)^2 = 3\,Ca(SH)^2.Sb^2S^3.$$

puis à l'anode :



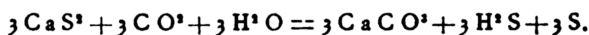
$$3\,CaS.Sb^2S^3 + 6\,H = 3\,Ca(SH)^2 + Sb^2.$$
$$3\,Ca(SH)^2.Sb^2S^3 + 6\,H = 3\,Ca(SH)^2 + Sb^2 + 3\,H^2S.$$

et à la cathode



$$3\,Ca(SH)^2 + 3\,O = 3\,CaS^2 + 3\,H^2O.$$

Si l'on traite ensuite par l'acide carbonique le sulfure de calcium précipité, il se produit, par la réaction :



$$3\,CaS^2 + 3\,CO^2 + 3\,H^2O = 3\,CaCO^3 + 3\,H^2S + 3\,S.$$

un précipité qui, chauffé au rouge à l'abri de l'air, donne de la chaux, du soufre et de l'acide carbonique réemployé. La chaux et l'hydrogène sulfuré reforment de nouveau du sulfhydrate de chaux et le soufre du minerai se trouve recueilli par distillation.

G. R.

Jonction Austin.

L'appareil qui est représenté en détail dans le groupe des figures 1 à 4 a été combiné pour

remplacer les différents systèmes de connexions en usage dans les appareils employés fréquemment dans les expériences et qui nécessitent un grand nombre de manipulations de vis, serre-fils, etc.

Il est formé d'un ou de deux cylindres croisés, creux et en ébonite, dans l'intérieur desquels est logé un amalgame bon conducteur; chacune des extrémités du tube est fermée

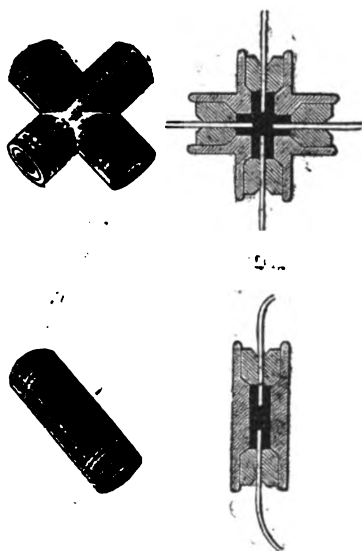


Fig. 1 à 4.

par un bouchon de caoutchouc percé, en son centre, d'un trou pour le passage du fil.

Ce nouveau genre de connecteur permet d'établir rapidement les connexions sans le secours d'aucune vis; l'opération consiste seulement à enfoncer les deux ou quatre extrémités dénudées des fils dans les trous de passage jusqu'à l'amalgame qui les relie électriquement les unes aux autres.

L. D.

Lampe électrique Sussman.

Une nouvelle lampe électrique, destinée à l'éclairage des mines, vient de faire son apparition en Angleterre où elle a été essayée avec succès. La lampe est du type ordinaire et la nouveauté de l'appareil consiste dans l'accumulateur.

Les plaques de cet accumulateur sont recouvertes de matière active qui, avant son application, est triturée dans un mélange de caoutchouc dissous et de pierre ponce pulvérisée. Cette préparation a pour but d'assurer une grande adhérence de la matière et de la rendre également très poreuse.

L'électrolyte solidifié employé dans la composition de cet élément a, paraît-il, une résistance intérieure de beaucoup inférieure à celle de tous les autres électrolytes employés jusqu'à présent; il est constitué par de l'acide sulfurique dans lequel on ajoute de la cellulose bien sèche et finement pulvérisée; cette dernière gonfle et forme avec l'acide une pâte compacte de très faible résistance. La batterie ainsi constituée a une surface de 6 cm^2 sur 20 cm de haut et pèse 1,580 kg.

La capacité d'un élément est de 7 ampères-heure à 6 volts, soit une énergie de 42 watts. Le courant de décharge est de 0,33 ampère; vers la fin de la décharge, la variation du voltage est moindre de 5 pour 100. La lampe qui complète l'appareil peut être allumée 10 heures de suite.

L. D.

L'éclairage électrique des mines, par William Baxter [1]

Malgré ses facilités d'application et son pouvoir éclairant incontestablement supérieur à tout autre agent producteur de lumière, l'éclairage électrique des mines n'a pas suivi la voie progressive des autres applications de l'énergie électrique; l'auteur prétend cependant qu'à intensité de lumière égale, l'éclairage à l'électricité d'après les moyens actuels de production, serait beaucoup plus avantageux que l'éclairage à l'huile tout en offrant plus de sécurité.

Une installation fixe d'éclairage électrique d'une galerie d'extraction où l'on a recours à la poudre pour en opérer le creusement est sujette de fréquentes détériorations causées par les éclats projetés par l'explosion d'une mine; en outre le déplacement continuel des

(1) *The Engineering and Mining Journal*. Vol. LXII, N° 1, p. 6, 4 juillet 1896.

lampes contribue à amener la rupture prématurée des câbles par les torsions qu'on leur fait subir. Dans ces cas l'auteur dit qu'il serait préférable de substituer la lumière à arc à la lumière à incandescence et d'éclairer à distance les points où s'effectuent de fréquentes explosions. La disposition à adopter serait alors la suivante : la lampe à arc serait placée à environ 60 mètres du point à éclairer et dans une position qui la mette à l'abri de toute projection de matériaux ; la lumière serait transmise par l'intermédiaire d'un ou plusieurs réflecteurs dont la position serait étudiée de façon à leur faire renvoyer le jet émis par la lampe sur le point à éclairer. Ces réflecteurs étant encore à une trentaine de mètres du lieu de l'explosion seraient très peu exposés à être brisés ; quant à la lampe, elle se trouverait complètement hors d'atteinte. Là où une grande intensité de lumière serait nécessaire on pourrait enfermer la lampe dans un projecteur comme ceux employés à bord des navires et cette lumière serait recueillie par des réflecteurs disposés de façon à concentrer les rayons et à les renvoyer au point à éclairer sous un angle éliminant presque totalement l'ombre.

L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Décharges électriques dans les vapeurs métalliques raréfiées, par E. Wiedemann et G. C. Schmidt (1).

Les vapeurs métalliques sont renfermées dans des ballons de verre, qui sont placés entre deux anneaux de 6 cm de diamètre recouverts de toile métallique : ces anneaux sont reliés aux pôles d'une machine à influence (dont les boules sont écartées de 2 à 3 mm) et forment les condensateurs terminaux d'un appareil de Lecher. Ils peuvent être plus ou moins éloignés du ballon, qui est chauffé selon les besoins.

Tant que le ballon est froid, les étincelles éclatent entre les boules de la machine. Si on chauffe le verre, celui-ci devient conducteur et l'électricité traverse le ballon. En réglant convenablement la distance des anneaux, de manière que de petites étincelles éclatent entre eux et le verre, et en donnant une pression déterminée à la vapeur on observe toutes les particularités des décharges dans les gaz raréfiés : une première couche de lumière cathodique, une région cathodique obscure, une lueur, une région de séparation obscure et une colonne de lumière positive (fig. 1).

Si la température baisse et que par suite la pression diminue, ou que, la température restant constante, on vide davantage le ballon, l'épaisseur de la région obscure s'accroît, la lueur devient plus intense et la lumière positive rétrograde, comme cela se passe dans les gaz.

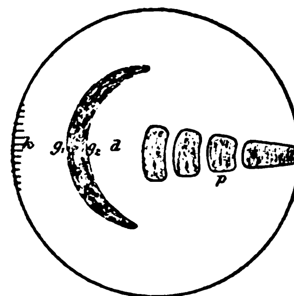


Fig.

Ces phénomènes sont dus à un passage de l'électricité dans l'atmosphère du ballon et non sur la paroi conductrice, car ils disparaissent et le courant devient continu quand on amène les anneaux métalliques au contact du verre. Il faut, pour que la vapeur s'illumine, qu'il jaillisse entre la paroi et les anneaux, des étincelles qui provoquent des oscillations. Les expériences dans lesquelles on s'est servi de tubes ordinaires, munis d'électrodes soudées ou mastiquées dans la paroi ont échoué : la décharge passait sans produire les phénomènes lumineux caractéristiques.

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 454.

Lorsque les anneaux servaient de condensateurs à un appareil de Lecher, oscillant régulièrement, on observait la lumière cathodique des deux côtés du ballon et au milieu la lumière positive, comme dans les gaz.

Les colorations observées varient avec la nature du métal. Voici les principales :

Sodium. — k orange, g blanchâtre, p jaune.

Potassium. — k et g blanchâtre, p pourpre.

Magnésium. — vert intense partout.

Thallium. — k et g bleu blanchâtre, p vert.

Cadmium. — k du bleu-vert au violet, g rose, g_2 violet, p vert dans l'ensemble : les parties concaves des strates sont vertes, les parties convexes sont violettes. La lumière positive est la plus pauvre en lignes spectrales, la lueur est la plus riche : la lumière de la première couche cathodique présente un caractère intermédiaire.

Zinc. — k bleu, g_1 rougeâtre, g_2 pourpre ; les concavités sont violettes, les convexités rougeâtres. Ce sont le zinc et le cadmium qui donnent les phénomènes les plus brillants.

Mercure. — Les différences entre l'anode et la cathode sont peu apparentes ; dans le spectre apparaît une bande verte, déjà signalée par E. Warburg.

Arsenic. — k blanchâtre, g bleuâtre, p verdâtre.

Tellure. — Bleuâtre partout.

Les formes caractéristiques de la décharge se montrent surtout nettement dans les vapeurs des métaux monoatomiques.

M. L.

Sur l'absorption des rayons cathodiques par P. Lenard (1)

La plupart des corps solides sont transparents pour les rayons cathodiques, mais seulement sous une faible épaisseur : aucun ne se comporte vis à vis des rayons cathodiques comme le verre vis à vis de la lumière. Les corps gazeux sont beaucoup plus transparents, d'autant plus qu'ils sont plus raréfiés. D'une manière générale la transparence croît quand la densité diminue et les expériences indiquent que le pouvoir absorbant est proportionnel sensiblement à la densité pour une même espèce de rayons cathodiques quel que soit d'ailleurs l'état physique et la composition du milieu.

1. Les rayons cathodiques sortent de la fenêtre d'un tube à décharges semblable à celui qui a été décrit précédemment et pénètrent dans le milieu absorbant. Leur intensité diminue à mesure qu'on s'éloigne de la fenêtre et cela pour deux raisons. D'abord par suite de la diffusion à partir de la fenêtre qui peut être considérée comme un point : l'intensité varie de ce chef comme $\frac{1}{r^2}$, r étant la distance comptée à partir de la fenêtre. Ensuite, par l'effet de l'absorption : il est naturel d'admettre que l'intensité du rayon décroît toujours de la même fraction de sa valeur pour un même parcours, c'est à dire qu'elle décroît comme e^{-ar}, a étant une constante caractéristique du milieu, qui recevra le nom de *pouvoir absorbant* de ce milieu.

Par conséquent, si J_0 représente l'intensité du rayonnement dans le voisinage immédiat de la fenêtre, à une distance r de cette fenêtre, l'intensité J sera représentée par l'expression

$$J = J_0 \frac{e^{-ar}}{r^2}$$

2. *Étude des gaz*. — Pour déterminer les pouvoirs absorbants de l'air atmosphérique et de l'hydrogène le récipient de l'appareil est rempli avec le gaz et on cherche à quelle distance il faut placer un écran phosphorescent, pour que les rayons cathodiques cessent d'être observables : soit r cette distance. On vide ensuite le récipient et on répète la même expérience : on trouve une autre distance $r_0 > r$. De ces deux mesures, on déduit ·

$$i = J_0 \frac{e^{-ar}}{r^2} = \frac{J_0}{r_0^2},$$

si on appelle i l'intensité que possèdent encore

(1) *Wied. Ann.* t. LVI p. 254.

les rayons quand ils cessent d'impressionner l'écran, et par conséquent :

$$a = \frac{2}{r}(\log r_0 - \log r)$$

Dans l'espace vide les rayons se propagent jusqu'à une distance r_0, de 135 cm environ. Le pouvoir absorbant de l'air qui n'est que 0,00416 sous la pression de 0,76 cm de mercure est de 0,117 sous la pression de 19,3 cm et 3,43 à la pression ordinaire. Celui de l'hydrogène est égal à 0,00149 sous la pression de 3,3 cm, à 0.0154 sous la pression de 20 cm et à 0,479 sous la pression ordinaire. Le rapport $\frac{a}{r}$ éprouve des variations assez notables : certains nombres s'écartent de 20 pour 100 de leur valeur moyenne. L'auteur admet néan-

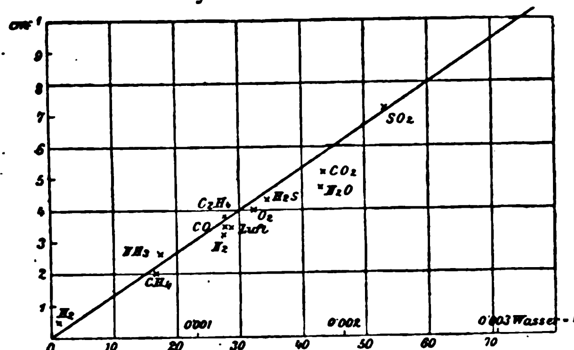


Fig. 1.

moins que ces écarts proviennent de l'incertitude des mesures : il fait remarquer qu'ils n'affectent aucune allure systématique, quoique les pressions aient varié dans le rapport 1 à 1000 pour l'air et 1 à 200 pour l'hydrogène. Il conclut que le pouvoir absorbant d'un gaz est proportionnel à sa pression ou autrement dit à sa densité.

3. Pour vérifier son hypothèse fondamentale, M. Lenard a étudié le pouvoir absorbant de l'air sous la pression ordinaire par une autre méthode. Elle consiste à affaiblir dans un rapport connu, par un écran convenablement disposé, le rayonnement qui sort de la fenêtre et de déterminer les distances limites auxquelles le rayonnement cesse d'être sensible quand on interpose l'écran et quand on l'enlève. Si l'écran affaiblit le rayonnement dans le rapport $\frac{1}{n}$, si r et R sont les distances limites observées avec et sans écran, on aura :

$$i = J_0 \frac{e^{-aR}}{R^2} = \frac{1}{n} J_0 \frac{e^{-ar}}{r^2}$$

d'où :

$$a = \frac{1}{R - r} \log \frac{n\, r^2}{R^2}.$$

L'écran est formé d'une feuille de métal dans laquelle on a percé des trous aussi ronds et à bords aussi nets que possible : ces trous sont distribués aux sommets d'un quadrillage tracé avec la machine à diviser.

L'expérience a été faite sur trois sortes de rayons correspondant à des longueurs d'étincelles de 1,6 cm, 2 cm et 3 cm. Les valeurs correspondantes de a sont 4,10 — 3,40 — 3,10. Le pouvoir absorbant est donc différent suivant la nature des rayons : et ce sont les rayons produits aux pressions les plus élevées qui sont le plus absorbés. Les différences d'absorption sont très grandes relativement aux différences de pression de l'atmosphère dans laquelle les rayons ont pris naissance. Ceci d'ailleurs confirme ce qu'on savait déjà par les expériences effectuées avec les tubes ordinaires. Aux pressions très basses, les rayons cathodiques atteignent une longueur de l'ordre du mètre, tandis qu'aux pressions un peu plus élevées, 1/2 mm par exemple, ils se transforment en lueur après avoir parcouru quelques millimètres.

Les chiffres trouvés dans les deux séries de mesures présentent une concordance satisfaisante (3,40 et 3,43).

4. Une fois connu le pouvoir absorbant de l'air sous la pression ordinaire, on peut lui comparer le pouvoir absorbant des autres gaz dans les mêmes conditions, il suffit de chercher les distances limites auxquelles un écran phosphorescent est encore impressionné dans l'air, puis dans le gaz ; soient G cette distance et g le pouvoir absorbant du gaz, a et A ces mêmes quantités dans le cas de l'air : on aura encore :

$$i = J_0 \frac{e^{-gG}}{G^2} = J_0 \frac{e^{-aA}}{A^2}$$

et par conséquent :

$$g = \frac{2}{G} \log \frac{A}{G} + a \frac{A}{G}$$

Pour réaliser l'expérience, on mastique normalement à la paroi dans laquelle est pratiquée la fenêtre un tube de verre long de 30 cm et large de 3, dans lequel on fait passer un courant de gaz assez prolongé pour expulser l'air. L'écran phosphorescent est déplacé à l'intérieur de ce tube à l'aide d'un aimant.

Les pouvoirs absorbants trouvés ainsi sont sensiblement proportionnels à la densité. Cependant on observe des irrégularités notables. Tandis que les mesures effectuées sur

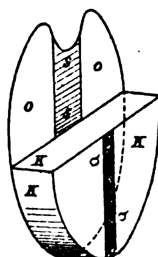


Fig. 2.

un même gaz sont très concordantes entre elles, les gaz ayant même densité n'ont pas donné les mêmes chiffres. — Ceci tient sans doute à la difficulté de produire toujours le rayonnement cathodique dans les mêmes conditions avec la même densité : cette difficulté est trop grande pour qu'on puisse avoir la prétention de décider par cette méthode si les gaz également denses sont également absorbants.

La courbe de la figure 1 représente la variation du pouvoir absorbant (ordonnées) en fonction de la densité (abscisses), elle est très voisine d'une droite. L'ozone n'a présenté aucun phénomène particulier : il se comporte comme l'oxygène ordinaire malgré leur différence de densité.

M. Lenard a fait aussi quelques expériences sur le pouvoir diffusant des gaz ; l'écran phosphorescent était alors disposé comme l'indique la figure 2. — La partie supérieure *oo* sert seulement à déterminer la position limite : elle est recouverte d'une feuille d'aluminium et de la saillie *ss* qui porte ombre. La partie inférieure sert à l'étude de la diffusion : Du côté tourné vers la fenêtre y sont ajustées des feuilles de métal opaques K, K, formant une chambre demi cylindrique. La paroi antérieure de cette chambre est percée d'une fente $\delta\delta$ large d'un millimètre par laquelle les rayons pénètrent jusqu'à l'écran, sur lequel ils forment une image de la fente. L'aspect de cette image permet de juger du pouvoir diffusant du gaz. Ce pouvoir diffusant croît aussi régulièrement avec la densité du gaz, mais ne dépend pas de la composition chimique. Des expériences plus complètes effectuées auparavant sur quelques gaz (hydrogène, azote, air, oxygène, gaz carbonique, gaz sulfureux) sous la pression ordinaire et aux basses pressions avaient déjà indiqué ce résultat.

En résumé, l'absorption et la diffusion des gaz paraissent liées de très près à la densité, au moins dans une première approximation· deux gaz de nature différente, mais qui ont même densité, à une même température se comportent de la même manière vis à vis des rayons cathodiques.

5. *Corps solides.* — Pour mesurer le pouvoir absorbant de l'aluminium, M. Lenard place des feuilles du métal sur le trajet des rayons entre la fenêtre de l'appareil et l'écran phosphorescent dans l'air libre et cherche à quelle distance l'écran cesse d'être impressionné. Soit r cette distance, quand la feuille a une épaisseur δ ; R, quand la feuille est enlevée. Il est facile de voir comme précédemment que :

$$i = J_0 \frac{e^{-aR}}{R^2} = J_0 \frac{e^{-(ar - m\delta)}}{r^2}$$

et que par conséquent le pouvoir absorbant m du métal sera :

$$m = \frac{1}{\delta}\left[a(R - r) + \log \frac{R^2}{r^2}\right].$$

La position de la feuille entre la fenêtre et l'écran phosphorescent est indifférente : si plusieurs feuilles de même épaisseur sont superposées, on constate qu'elles n'ont pas

toutes la même transparence, mais cependant toutes donnent à peu près la même valeur pour le pouvoir absorbant. Il ne paraît pas qu'il se produise de réflexion ni d'absorption à la surface des feuilles, car leur nombre n'a pas d'influence sur les résultats. La nature des rayons ne paraît pas non plus influer sur leur absorption dans l'aluminium, au moins sur leur absorption apparente comparée à celle de l'air, car c'est cette quantité que mesurent seulement les expériences; ceci prouverait que les rayons correspondant aux longueurs moindres d'étincelles sont absorbés plus énergiquement par l'aluminium comme par l'air et sensiblement dans le même rapport.

Le coefficient d'absorption de l'aluminium 7 150 est environ 2 200 fois plus grand que celui de l'air. Si on admet la proportionnalité entre le pouvoir absorbant et la densité, le coefficient est celui que donnerait le calcul pour un gaz de densité égale à celle de l'aluminium.

6. La même loi se vérifie assez bien quand on compare entre eux divers solides. Les plaques qui ont même masse donnent des ombres à très peu près identiques.

7. Le pouvoir absorbant d'un certain nombre de substances solides a été encore comparé à celui de l'aluminium, d'une manière un peu plus précise; elle consiste à recouvrir l'écran moitié avec une feuille de la substance et moitié avec une feuille d'aluminium ; on modifie l'épaisseur de cette dernière jusqu'à ce que la ligne de séparation entre les deux moitiés correspondantes de l'ombre ne puisse plus être distinguée. Le pouvoir absorbant des métaux, du papier, du collodion, du mica s'est trouvé aussi sensiblement proportionnel à la densité.

Le cuivre et le zinc ont donné des résultats assez irréguliers, tenant sans doute aux inégalités d'épaisseur, cependant ces résultats sont en accord satisfaisant avec la loi des densités. L'argent a fourni des nombres plus réguliers qui s'écartent nettement de la loi, le pouvoir absorbant croît moins vite que l'épaisseur des lames. Même écart, avec l'or quoique moins prononcé.

L'ensemble des résultats est indiqué dans le tableau ci-dessous :

Substance	Pouv. absorb.	Densité	Pouv. abs. / Densité
Hydrogène (3 mm 3 de press.)	0,00149	0,000000368	4040
Air (0 mm 78)	0,00416	0,00000125	3330
Hydrogène (760 mm)	0,476	0,0000849	5610
Air (760 mm)	3,42	0,00123	2780
Gaz sulfureux (760)	8,51	0,00271	3110
Collodion	3310	1,10	3010
Papier	2690	1,30	2070
Verre	7810	2,47	3160
Aluminium	7150	2,70	2650
Mica	7250	2,80	2590
Clinquant	23800	8,90	2670
Argent	32200	10,5	3070
Or	55600	19,3	2880

M. L.

CHRONIQUE

Monsieur le Directeur,

Permettez-moi d'abord de vous remercier pour la large part que vous avez faite au compte-rendu de la première séance de la Section d'Electrochimie, dans le dernier numéro de votre journal, et de l'attention que vous avez apportée à la Communication que j'ai eu l'honneur de faire au début de notre réunion.

Voulez-vous bien m'autoriser à vous communiquer ici quelques observations complémentaires qui pourront peut-être intéresser vos lecteurs.

Au sujet de l'application des forces naturelles, je n'ai rien à répondre aux remarques formulées par MM. Doremus et Hillairet.

En effet, en Amérique, comme l'a fait observer M. Doremus il peut se faire que l'utilisation que l'on fait actuellement d'une puissante chute d'eau, j'ai nommé le Niagara, soit plus onéreuse que certains moteurs; les moteurs à pétrole par exemple.

J'admets également, avec M. Hillairet, que s'il existe des chutes d'eau faciles à exploiter, il en est dont l'installation est difficile et coûteuse, et pour lesquelles on ne peut fixer d'une manière rigoureuse et à priori, le coût du cheval électrique.

Mais nous ne sommes encore qu'à l'aurore d'une science qui présente pour notre pays un extrême intérêt.

Nous sommes peu riches en combustibles ; nous empruntons à l'étranger 10 millions de tonnes de charbon par an. Ne serait-ce pas de bonne économie industrielle, que de se soustraire à ce tribut annuel.

Et s'il fallait pour cela dépenser beaucoup en installations hydrauliques, l'industrie ne trouverait-elle pas rapidement son compte dans l'économie du charbon qu'elle ferait.

Les chutes immédiatement utilisables, et à bon marché, sont-elles nombreuses ? Evidemment non ; j'estime que toutes réunies, elles ne dépasseraient guère 150 mille chevaux, 200 mille peut-être. C'est un chiffre, mais ce n'est pas suffisant.

On peut faire mieux, et je crois qu'en étudiant bien la question on obtiendrait, comme l'a fait ressortir M. Bergès, une puissance motrice 20 fois supérieure à celle que je viens d'indiquer, rien que dans les Alpes Françaises. Par quel moyen ? En régularisant le débit des eaux. Combien de vallées sont sillonnées de mille petits ruisseaux provenant de la fonte des neiges, qui deviennent torrents à la moindre pluie.

Ces vallées sont désertes, la plupart, et on peut les transformer en réservoir d'eau au moyen d'un simple barrage.

Forcez toute l'eau qui s'écoule à passer par la turbine, et vous aurez de la force motrice pour tous les besoins de notre industrie.

Et si l'avenir est à la chimie des hautes températures, celles du centre de la terre, n'est-il pas séduisant d'emprunter l'énergie qu'elle réclamera, aux plateaux élevés, aux basses températures des neiges éternelles.

A propos de la dépense d'énergie nécessaire à la production des métaux ; vous m'avez fait dire que l'on dépensait 3, 5 chevaux-heure pour le dépôt électrolytique d'un kilogramme de cuivre, ce qui entraineraitune dépense de 0,35 fr. avec les machines à vapeur et de 0,04 fr. avec les forces naturelles. Ces chiffres se rapportent au cas où l'électrolyse s'opère sans anodes solubles. Dans l'affinage du cuivre, qui revient à un simple transport de cuivre, l'électrolyse s'opérant avec anodes solubles, la dépense d'énergie est dix fois moindre, et alors il n'y a plus d'intérêt à employer les forces naturelles.

Un mot encore sur l'électrolyse par fusion ignée et son application à l'électrométallurgie de l'aluminium.

Je n'ai abordé dans ma communication que les points théoriques ; les observations qui m'ont été faites ensuite, tendaient à établir un parallèle entre les différents procédés industriels exploités actuellement. Pour beaucoup de raisons il ne me semblait pas opportun de m'engager sur ce terrain. J'ai toujours rendu justice à la science et l'énergie avec laquelle MM. Hall et Héroult, avaient établi leur industrie, et la seule observation que je me suis permis de faire, n'a jamais porté que sur une question de principe.

J'ai cru et je crois toujours que lorsque dans un bain fondu, se trouvent en présence du fluorure d'aluminium, des fluorures et chlorures alcalins et alcalino-terreux, de l'alumine *dissoute* ou en *suspension*, c'est le fluorure d'aluminium qui est décomposé par le courant d'abord, l'alumine est ensuite attaquée par le fluor naissant ; d'où régénération du fluorure. Encore quelques années et je crois que l'on me donnera raison.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, mes salutations très empressées.

A. Minet.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Alger.— Traction. — La Compagnie Thomson Houston s'occupe en ce moment d'obtenir du préfet d'Alger les autorisations provisoires nécessaires pour pouvoir entreprendre de suite les travaux de la ligne électrique de l'hopital du Dey à la colonne Voirol dont la concession lui a été attribuée.

Azay-le-Rindeau (*Indre et Loire*). — *Éclairage* Dans une réunion publique tenue à Azay-le-Rindeau, un ingénieur électricien a exposé les premières bases pour la constitution d'une société d'électricité ; des administrateurs provisoires ont été désignés et l'on espère avoir avant peu une solution définitive. Il ne faut d'ailleurs que 58 000 francs et 300 lampes assurées.

Bordeaux.— Traction. — Le dossier des diverses propositions relatives à l'installation d'un réseau de tramways électriques à Bordeaux, (Voir *Écl. Élec.* t. VIII, p. 186, 25 juillet 1896) vient de s'augmenter de nouveaux projets ; ils sont actuellement au nombre de cinq, et, parmi ceux-ci, se trouve une offre de tramways à vapeur.

Les sociétés qui ont actuellement fait connaître leur intention de concourir sont : la Compagnie

des tramways et omnibus de Bordeaux, la Société de Brançion, M. Cauderay, la Société alsacienne, et une Société exploitant le système Serpollet.

Trois ou quatre autres demandes sont encore attendues, et parmi celles-ci, celle de la Compagnie Thomson Houston dont les procédés sont employés sur les lignes du Vigean et de Pessac.

Un des projets soumis à l'administration prévoit tout un immense réseau suburbain, dont la concession ne pourrait être accordée que par le Conseil Général ; il partirait de Bègles, passerait par Léognan, Gradignan, Pessac, Saint-Augustin, Mérignan, Caudéran, Saint-Médard, le Vigean et viendrait aboutir par des voies non exploitées jusqu'à ce jour, à un point central de Bordeaux.

Comme on peut le prévoir la question n'est pas encore sur le point d'être résolue.

Cannes (Alpes Maritimes). — *Éclairage*. — Le Conseil Municipal de Cannes, sur la proposition de M. Agarrat, rapporteur, a donné au maire l'autorisation de signer le cahier des charges, sous forme de traité, à passer entre la Ville et la Société d'éclairage électrique. Ce traité est relatif à la prolongation, sans monopole, de l'autorisation donnée à cette Société de distribuer l'énergie électrique dans cette ville.

Dans ce traité, il est dit que la Société devra payer à la ville 500 fr par an de droits de voirie et que le prix de vente de l'énergie sera de 1,20 fr le kilowatt-heure jusqu'en 1911, époque à laquelle il pourra être diminué s'il y a lieu.

Cette (Hérault). — *Traction*. — Nous apprenons que la ville de Cette verra sous peu ses rues parcourues par les tramways électriques. A cet effet le Conseil Municipal de cette ville avait formé une Commission spéciale chargée d'examiner les projets présentés déjà par plusieurs Compagnies. Le nouveau réseau qui serait installé au frais de ces dernières comprendrait trois grandes lignes ; la première : de la gare au quai du Bosc en parcourant l'avenue, le Pont-de-Pierre, le quai du Pont-Neuf, le quai du Nord et le quai du Bosc par le pont National ou Legrand.

La deuxième partirait du quai du Bosc pour desservir la corniche et presque tout le tour de la montagne St-Clair jusqu'aux casernes. Il faut espérer que les compagnies se décideront à établir la voie ferrée tout autour de St-Clair, c'est à dire en poursuivant la ligne jusqu'au point de départ. Cette exploitation serait très certainement productive à certaines époques de l'année ; elle pourrait être suspendue l'hiver. La troisième grande ligne aurait la route de Montpellier (à l'abattoir ou à l'octroi) comme point terminus.

Lyon. — *Éclairage*. — Le projet d'éclairage électrique de l'Hôtel-de-Ville présenté par le service de l'architecture, vient d'être adopté par le Conseil municipal après certaines modifications apportées par le rapporteur de la commission. Les travaux d'installation qui vont être commencés comprendront la pose des câbles de branchement et canalisations intérieures alimentant les lampes réparties en assez grand nombre dans les différentes salles et nombreux bureaux de l'édifice.

Le total de la dépense pour l'installation complète de l'électricité dans l'Hôtel-de-Ville sera de 20 738 fr.

Le crédit disponible pour cette dépense étant de 15 700 fr., crédit ouvert en 1892 (art. 184 du chapitre III), et reporté depuis lors d'année en année, il reste à voter la somme de 5 038 fr. pour arriver au total de 20 738 fr.

La Compagnie du gaz de Lyon devra être autorisée à jonctionner deux câbles, celui de la rue de la République à l'angle de la rue Lafont et celui de la rue Paul Chenavard, jugés séparément insuffisants pour fournir l'énergie nécessaire à l'éclairage électrique de l'Hôtel-de-Ville.

Il est bien certain que l'autorisation donnée à la Compagnie du gaz de Lyon, pour le jonctionnement de ces deux câbles, afin d'éclairer l'Hôtel-de-Ville au moyen de la lumière électrique, n'implique aucun changement aux droits et aux dispositions précédentes de la Ville vis-à-vis de la Compagnie du gaz.

Cette autorisation est expressément révocable d'année en année et ne confère ni privilège, ni monopole nouveau au concessionnaire actuel.

Poitiers (Vienne). — *Traction*. — Le Conseil municipal de la ville de Poitiers vient de prendre une décision définitive à propos de la question des tramways électriques dont un projet avait été déposé il y a quelque temps (Voir *Écl. Élect.*, t. VII, p. 47, 6 juin 1896) par MM. Béliard et Cie, Après discussion article par article, de ce projet, le Conseil a décidé d'adopter les lignes suivantes :
1° La ligne de la gare d'Orléans à l'Hôtel-de-Ville, partant de la cour de la gare et passant : boulevard Solférino, rue Boncenne, place du Palais, rues Gambetta, des Grandes-Ecoles, du Chaudron

d'Or, du Puygarreau aboutissant derrière l'Hôtel-de-Ville.

2° La ligne de l'Hôtel-de-Ville au Pont-neuf, passant : rues du Puygarreau, de l'Eperon, du Pont-Neuf, faubourg du Pont-Neuf jusqu'à la Croix.

Une proposition faite par l'un des membres du Conseil pour demander au concessionnaire le prolongement de la ligne jusqu'en haut du faubourg a été adoptée.

Mezin (Lot-et-Garonne). — Éclairage. — On nous informe que la ville de Mézin vient de s'ajouter à la liste déjà longue des villes de France pourvues de l'éclairage électrique.

Le projet comporte l'installation à L'usine Lasserre de deux dynamos pouvant débiter chacune 75 ampères sous 110 volts, elles seront couplées en tension et mises en mouvement aux heures prévues, par 2 turbines. Une canalisation aérienne à trois fils distribuera l'énergie électrique et assurera à la fois l'éclairage public et l'éclairage privé. Les câbles seront soutenus par des consoles en fer munies d'isolateurs, lesquelles seront fixées à des poteaux en bois en dehors de la ville et aux maisons partout où cela sera possible.

L'éclairage se fera à l'aide de lampes à arc pour les places publiques et à l'aide de lampes à incandescence pour les rues et chez les particuliers ; ces derniers se brancheront directement sur la canalisation publique, l'installation étant à leurs frais, l'énergie leur sera vendue à forfait.

Quoiqu'il en soit, tout porte à croire que le nouveau mode d'éclairage sera moins coûteux que celui actuellement en usage et, sans entrer dans les détails, on estime que la dépense nécessitée par l'installation ne dépassera pas le chiffre prévu, soit 22 000 fr. environ.

Nice. — Traction et éclairage. — M. Antonin Raynaud, qui fait construire sur les hauteurs de Cimiez l'immense hôtel du Regina-Palace, où viendra, dit-on, séjourner l'hiver prochain la reine d'Angleterre, a demandé à la ville de Nice :

1° De construire 2 kilomètres et demi d'égoûts sous la route de Cimiez, à partir du Regina-Palace; 2° de dévier la ligne du tramway électrique sur l'avenue Regina ; 3° de compléter l'éclairage du boulevard de Cimiez par l'électricité.

La Commision municipale a étudié la question, mais a décidé de surseoir à statuer sur cette demande.

Rennes. — Éclairage. — La question de l'éclairage électrique de cette ville, est paraît-il, toujours en suspens. Il serait désirable cependant que Rennes, la ville universitaire et capitale de la Bretagne suive l'exemple que lui donnent les plus humbles communes du département de l'Ile-et-Vilaine. Toutefois, il est permis d'espérer que la ville de Rennes n'attendra pas l'expiration du traité qui la lie avec la Compagnie du gaz pour être autorisée à suivre la voie du progrès.

Certains articles de ce traité pourront donner lieu à une entente entre l'Administration municipale et la Compagnie du gaz qui détient le monopole de l'éclairage public, dans le but de substituer la lumière électrique à l'éclairage actuel.

Trie (Hautes-Pyrénées). — Éclairage. — Au développement considérable de l'emploi de l'électricité pour l'éclairage dans les villes du midi, nous avons à ajouter le nom de la ville de Trie. La *Dépêche* de Toulouse nous annonce en effet que des lampes à incandescence remplaceront prochainement les quinquets fumeux de l'ancien éclairage. Les travaux d'installation de l'usine électrique sont déjà commencés, et grâce au zèle de l'entrepreneur, M. Maurice Bergez, tout fait espérer qu'ils seront rapidement menés à bonne fin ; on espère en effet inaugurer la nouvelle station centrale dans les premiers jours du mois prochain.

Troyes. — Éclairage. — La Compagnie nationale d'électricité en possession depuis cinq ans de l'éclairage particulier dans la ville de Troyes, vient de traiter avec la municipalité de cette ville pour la fourniture de la lumière dans toute la zone suburbaine. Le traité passé avec le maire a été récemment approuvé par le préfet de l'Aube ; les travaux doivent être terminés dans trois mois. La plus grande partie de la ville de Troyes va donc se trouver dotée d'un éclairage électrique modèle, comme sa petite voisine, la commune de Sainte-Savine, qui, plus heureuse, le possède déjà depuis cinq ans.

Toutes les autres usines de la Compagnie sont en pleine prospérité. Les recettes des 4 premiers mois de 1896 montrent une augmentation de 10 pour 100 sur 1895. D'importantes affaires sont, en outre, en négociation.

Senones (Vosges). — Éclairage. — On compte déjà dans ces régions de nombreuses villes, petites ou grandes, qui ont adopté l'éclairage électrique.

Le Conseil Municipal de la petite cité vosgienne de Senones ne voulant pas rester en arrière dans la voie du progrès s'est décidé d'imiter les villes voisines déjà dotée de l'éclairage électrique. En conséquence, la question fut étudiée et le projet d'éclairage élaboré par MM. Imbault frères, fut accepté à l'unanimité. Les travaux doivent commencer incessamment.

Vals-les-Bains (*Ardèche*). — *Traction.* — Le Conseil Municipal de Vals s'est réuni pour discuter l'importante question du tramway électrique Vals-Aubenas.

Le cahier des charges, déjà discuté et modifié sur plusieurs points par la Commission municipale du tramway, a été lu et discuté à nouveau pendant la séance. On y a introduit plusieurs changements et additions ainsi il a été spécifié que, pendant la saison des eaux, du 15 juin au 15 septembre, la Compagnie concessionnaire aurait un service spécial du pont de Vals aux Eaux, toutes les demi-heures, de 5 heures du matin à 11 heures et de 2 heures à 6 heures 1/2 du soir. Après ces modifications, le cahier des charges a été adopté par le Conseil et la concession donnée à MM. Cettier, Giraud et Cie, à charge par eux d'obtenir le décret d'utilité publique, de déposer un cautionnement de 10 000 fr et de justifier à bref délai de la constitution d'une société pour l'exploitation et de ressources suffisantes. M. Cettier, représentant de la future société, a fait, au cours de la séance, des déclarations importantes et intéressantes : il a indiqué que le capital était déjà souscrit, il a donné quelques détails sur le mode d'exploitation : ainsi il y aura à Aubenas, à l'Airette, des trains spéciaux pour le service d'Aubenas-Ville à la gare P.-L.-M. Enfin, chose encore plus importante, il a dit que, dans sa pensée et dans celle des auteurs de l'entreprise, le tramway de Vals à Aubenas n'était que le début d'un réseau de tramways dans l'Ardèche.

La première ligne étudiée sera celle d'Aubenas à Saint-Paul-le-Jeune. A partir du mois prochain des études et une enquête sur place commenceront, avec le concours de plusieurs notabilités locales, pour l'examen des ressources qu'offrirait cette ligne, dont la dépense serait de 4 millions environ, d'où grands avantages pour Vals, Aubenas et tout le Bas-Vivarais.

Un traité survenu entre la nouvelle société et M. Henri Giraud lui donne l'entreprise des travaux de la ligne Vals-Aubenas. Ces travaux commenceront aussitôt après le décret d'utilité publique, que l'on espère avoir dans un mois ou deux. On mènera activement et de front la construction de la station centrale, la pose des rails et la construction des stations. On espère livrer cette ligne à l'exploitation vers le 1er janvier 1897.

DIVERS

L'éclairage électrique des omnibus à Paris. — Dans la séance du 3 juillet dernier, le président du Conseil Municipal a donné lecture d'une lettre du préfet de police, faisant connaître, en réponse à un vœu du Conseil, que la Compagnie des Omnibuss désireuse d'améliorer l'éclairage de ses voitures, procède en ce moment à des essais d'éclairage électrique.

Cette expérience se fait dans une voiture de la ligne Saint-Augustin-Vincennes ; jusqu'alors, les résultats paraissent satisfaisants.

La traction mécanique à Paris. — Dans le numéro du *Génie civil* du 11 juillet, M. P. Regnard appelle l'attention des ingénieurs sur l'enquête ouverte dans les mairies de Paris pour la transformation de la traction des omnibus et tramways en traction mécanique et publie les principaux passages de son dire dans cette enquête.

Après avoir fait ressortir les avantages évidents que présente la traction mécanique et principalement la traction électrique sur la traction animale, M. Regnard fait observer que l'administration n'est pas désarmée vis-à-vis des puissantes Compagnies d'omnibus et de tramways et qu'elle a les moyens de leur suggérer, de leur imposer au besoin, l'application des progrès aujourd'hui sanctionnés par une pratique universelle.

Ceci semble résulter du texte même de la délibération du Conseil municipal de Paris, en date du 28 décembre 1860, délibération approuvant le traité de concession passé entre la Tille et la Compagnie générale des omnibus. L'article 7 de ce traité est, en effet, ainsi conçu :

« Néanmoins, le Préfet de la Seine, après s'être concerté avec le Préfet de Police et après avoir entendu la Société pourra :

» 1° Prescrire toutes les améliorations dont elles seront reconnues susceptibles dans l'intérêt des voyageurs et fixer le délai dans lequel ces améliorations devront être réalisées ;

» 2° Imposer à la Société, soit par forme d'essai, soit définitivement, l'emploi de tout nouveau

mode de locomotion qui pourrait se produire et présenter des avantages.

» Si l'adoption d'un système nouveau avait pour résultat un accroissement notable dans les produits nets de l'exploitation, la Société serait obligée de faire participer le public et la Ville de Paris à ces avantages au moyen d'un abaissement du tarif ou d'une augmentation de la redevance en faveur de la Ville.

» Le Préfet de la Seine, après avoir pris l'avis du Préfet de Police, et après délibération du Conseil municipal, la Société probablement entendue, déterminera l'époque où il y aura lieu à l'application du paragraphe précédent et fixera les avantages dont le public et la Ville devraient profiter, le tout sauf approbation de l'autorité compétente.»

Une nouvelle sonde électrique. — Un de nos contemporains l'*Electrical Engineer* de New-York, rapporte qu'une nouvelle sonde électrique vient d'être inventée par M. le Dr J. F. Babcock, de Banger, (Me). Cet appareil qui est destiné à remplacer le sondage à la main avec le plomb ordinaire, se compose d'un cylindre métallique muni d'un compartiment étanche dans lequel se meut un piston. La tige extérieure de ce piston porte une masse pesante dont le poids maintient ouvert un circuit électrique dans lequel se trouve une sonnerie; dans ce but les fils du circuit sont reliés à deux touches de contact, situées dans la chambre étanche, et maintenues écartées par le poids de la tige du piston. A l'approche des côtes par les temps brumeux ou dans toute autre circonstance où il est nécessaire de connaître le fond, on suspend le cylindre à une ligne de sonde. On immerge l'appareil ainsi disposé jusqu'à la profondeur que l'on cherche à connaitre. Dès que la masse pesante de l'appareil vient toucher le fond, le piston remonte, aidé par un ressort, et vient fermer le circuit; la sonnerie avertit à ce moment que le fond que l'on voulait connaître par la profondeur d'immersion donnée à l'appareil est atteint. Cette nouvelle sonde peut, comme on le voit, indiquer la profondeur de l'eau sans avoir besoin d'être remontée à la surface.

Communications électriques des phares et des bateaux-phares avec la terre, en Angleterre. — Depuis quelque temps, une commission compétente a été instituée, en Angleterre, pour entreprendre une série d'études et d'observations à propos de la question, agitée depuis longtemps par les autorités maritimes anglaises des communications télégraphiques et téléphoniques entre les phares isolés, les bateaux-feux et la terre ferme, afin de pouvoir prévenir en tous temps, l'approche d'un navire en détresse, d'un ouragan, etc.

Cette commission qui avait été envoyée sur les côtes du Danemark pour étudier le système de communication électrique en usage dans ce pays, vient de publier son quatrième rapport, celui-ci, d'après le désir exprimé à la suite du rapport, remis en avril 1895, devrait être le dernier, mais par suite, en conséquence des sérieuses difficultés que l'on éprouve encore pour maintenir les communications électriques sur certains bateaux-feux avec le système actuellement employé, la Commission a décidé de remettre son rapport final à une date ultérieure afin d'avoir le temps de faire de nouvelles expériences.

D'après le rapport qui vient d'être publié, il y a actuellement cinq bateaux-feux, six ilôts, balises ou phares isolés en mer et environ quarante phares sur les côtes d'Angleterre mis en communication électrique avec le système télégraphique général, pour le compte de l'Etat.

Le système de communication adopté au Danemark est en quelque sorte une extension du service télégraphique, en ce sens que les navires recoivent ou envoient leurs dépêches au moyen des signaux du code international, et que ces messages sont ensuite envoyés à un bureau central qui les transmet à destination ; en Angleterre ce service n'est effectué que par les gardes-côtes et les bureaux de postesdes ports.

La Commission n'a pu se rendre compte exactement du prix de revient de ses installations, mais croit, par les accidents qui se sont produits dans le cours de son inspection, sur une douzaine d'installations, que leurs recettes ne peuvent subvenir aux dépenses occasionnées par les réparations.

Après avoir donné des détails sur la nature et la cause des interruptions de communications électriques sur plusieurs points de la côte danoise, la commission expose en quelques mots les expériences qu'elle se propose d'entreprendre avant d'établir son rapport final sur l'objet de sa mission.

Ces expériences auront pour but de chercher un moyen de poser les cables de façon à ne pas être détériorés par la coque ou les chaines d'ancrage des bateaux-feux et enfin de transmettre les messages au moyen de manipulateurs Morse; et

de récepteurs téléphoniques employés simultanément.

Les installations électriques à Paris. — Sous ce titre, *Le Génie* du 9 juillet fait ressortir le développement considérable qu'ont pris, dans ces dernières années, les installations électriques parisiennes et fait observer que ce développement aurait pu être, comme en Amérique, beaucoup plus grand s'il n'avait été paralysé par un certain nombre de difficultés: présence des usines au milieu de la ville où elles incommodent les habitants par la fumée et le bruit, prix élevé de l'hectowatt-heure qui fait de l'éclairage électrique un éclairage de luxe, concurrence du gaz, enfin accidents qui se sont produits aux débuts. La plus grave assurément est le prix vraiment prohibitif auquel les stations centrales livrent actuellement le courant, et à ce sujet nous relevons, dans l'article que nous signalons, les considérations suivantes :

« Il est bien question, en ce moment, d'un moyen d'abaissement de prix, c'est la prolongation de la durée de leur concession, demandée par les secteurs électriques. Mais le Conseil municipal de Paris voudra-t-il, sur ce point, aliéner sa liberté dès aujourd'hui et engager l'avenir, quand, dans dix ans, en 1905, toutes les concessions, y compris celles du gaz, viendront à échéance ?

» Il semble qu'il y aurait dès maintenant une solution susceptible de résoudre les difficultés, c'est de faire, dès aujourd'hui, ce qu'il faudra faire en 1905. A cette époque, il est certain que la ville ne pourra entreprendre d'exploiter elle-même les usines électriques. L'armée des fonctionnaires municipaux est sans cesse grandissante et avec elle augmentent les charges du budget, surtout avec la perspective de la retraite avec minimum obligatoire de 700 fr qui a été voté ces derniers temps par le Conseil municipal. Dans ces conditions, la ville de Paris devra, ou s'adresser à des sociétés fermières ou prolonger les concessions actuelles.

» Ne pourrait-on pas, d'une part, obtenir immédiatement pour le public les avantages dont il pourra jouir en 1905, en prolongeant la durée des diverses concessions existantes, et, d'autre part, supprimer la lutte entre le gaz et l'électricité, en prescrivant l'emploi de moteurs à gaz dans les installations nouvelles à faire dans Paris pour la production de l'énergie électrique. Les citadins y gagneraient en hygiène et l'aspect de la ville ne pourrait que s'améliorer par la suppression des panaches de fumée. On aurait ainsi un plus grand nombre de moteurs à puissance relativement faible, au lieu de moteurs à vapeur, de 600 à 1 000 chevaux.

» Le rendement des dynamos y gagnerait, puisque de cette façon elles pourraient toujours marcher à pleine charge. La ville trouverait bénéfice, d'une part dans la consommation de gaz, d'autre part dans la consommation d'électricité. On fabrique aujourd'hui en Angleterre et en Allemagne couramment des moteurs à gaz de 300 à 400 chevaux à plusieurs cylindres. Paris pourrait aussi bien faire à coup sûr. Nous nous bornons à poser la question et à appeler sur elle l'attention de nos ingénieurs et de nos édiles. »

Réparation du caoutchouc durci. — On a souvent besoin, dans les multiples applications actuelles de l'électricité, de réparer des objets en caoutchouc durci, isolateurs ou autres, avariés ou cassés. Voici la formule que donne, dans ce but, la *Science illustrée* : On fait fondre sur un bon feu deux parties de résine de pin, et on la laisse se chauffer jusqu'à ce qu'elle rejette de fortes vapeurs ; puis on y ajoute peu à peu, une partie de gutta-percha en petits morceaux, en ayant soin de remuer toujours, afin que la pâte soit bien uniforme. Ce mastic qui se conserve indéfiniment, doit être fondu avant chaque emploi ; on enduit alors les parties des objets à raccommoder avec le liquide chaud en l'agitant vivement, et on fait adhérer les pièces. Quand l'opération est terminée, on enlève sur les objets le surplus du mastic qui a jailli et dépasse le niveau de la brisure.

L'utilisation des chutes du Nil. — On projette d'utiliser la force motrice des eaux du Nil en énergie électrique.

Une première installation est projetée près d'Assouan ; une chute de 15 mètres de hauteur pourra donner 44 000 chevaux, on ne réservera qu'une faible quantité pour l'irrigation des champs. Une autre chute de 5 mètres sera utilisée aux environs du Caire.

On compte ainsi pouvoir actionner 130 filatures donnant du travail à 40 000 ouvriers et livrant 100 000 tonnes de coton. Une partie de l'énergie électrique serait appliquée au traitement de la canne à sucre. Cette industrie pourrait fournir 460 000 tonnes de sucre provenant de 280 000 hectares de terrain.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie EM. MAUCHAUSSAT, 32, Boul. Vaugirard.

Tome VIII — Samedi 15 Août 1896 — 3e Année. — N° 33

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

L'ÉCLAIRAGE A L'ACÉTYLÈNE

Nos lecteurs ont été toujours tenus au courant de tous les travaux relatifs au carbure de calcium et des applications de l'acétylène (¹).

Nous voudrions aujourd'hui, sans revenir sur ce qui a déjà été dit dans nos colonnes, tracer un tableau d'ensemble de l'état actuel de la question, en insistant particulièrement sur la description des appareils proposés ou employés jusqu'ici, afin que les inventeurs puissent en reconnaissant leurs défauts, en créer de plus parfaits.

En effet deux raisons, à notre avis, ont retardé le développement des applications de l'acétylène. D'abord la crainte des accidents que, d'après ce qui avait été dit au début, on pouvait redouter de son emploi ; ensuite les difficultés d'ordre pratique qu'on éprouve à obtenir un dégagement régulier d'acétylène par réaction de l'eau sur le carbure de calcium : par suite des irrégularités du débit avec la plupart des appareils inventés, le gaz se dégageait dans l'atmosphère et l'odeur désagréable (pour ne pas dire plus), faisait reculer les plus enthousiastes.

Nous savons que ce travail est forcément incomplet, car chaque jour amène de nouveaux procédés ; mais tel qu'il est nous pensons qu'il pourra être utile.

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 126, 384, 575; t. III, p. 69, 144, 145, 432 555 ; t. IV, p 229, 192, 608 ; t. V, p. 278 ; t. VI, p. 133, 172, 431 ; t. VII, p. 60, 74, 113.

LES DANGERS DE L'ACÉTYLÈNE

Peu d'inventions ont autant provoqué l'attention, fait naître autant d'espoirs que la fabrication de l'acétylène par le carbure de calcium. Dès que les mémoires de Lewes et de Willson, inspirés par les travaux de Moissan, eurent signalé tout le parti commercial qu'on pouvait en tirer, chacun se mit à l'œuvre ; ceux même qui la veille ignoraient qu'il put exister un gaz de ce nom, s'engagèrent dans cette voie toute tracée dont on attendait monts et merveilles à très bref délai. Cependant près de deux ans se sont écoulés ; le nombre de travaux publiés sur l'acétylène menace de prendre des proportions inusitées ; les brevets délivrés à ce sujet se chiffrent par centaines ; mais les applications sont encore très peu nombreuses ; nous ne croyons pas qu'il existe une seule installation présentant un caractère véritablement définitif et industriel ; ce ne sont que des essais et des tâtonnements.

Faut-il en conclure que les espérances conçues à l'origine étaient fausses ? Que l'éclairage à l'acétylène n'est pas susceptible d'applications pratiques ? Nous ne le croyons pas. Tout l'enseignement qu'il faut tirer de cet écart entre les désirs de chacun et leur réalisation, c'est qu'on s'est engagé trop rapidement dans cette voie encore mal connue et peu étudiée jusqu'ici. C'est une conséquence malheureuse de l'activité fébrile d'aujourd'hui.

Si un savant ou un inventeur veut conserver la priorité ou s'assurer les bénéfices de sa découverte ou de son invention, il est obligé, de publier le résultat de ses travaux avant d'avoir pu les porter au point de perfection qu'il désirerait leur donner. L'essaim des inventeurs s'abat alors à grand bruit sur la pâture qui lui est donnée ; le point de départ est bien souvent oublié, parfois ignoré, de la plupart d'entre eux. Faut-il s'étonner que, dans ces conditions, les résultats obtenus ne soient pas en rapport avec la somme de travail dépensée, et que le public rendu méfiant ne consente pas à payer les expériences de ces inventeurs qui n'ont d'autre génie que de savoir exploiter celui des autres, et cela surtout, si ces expériences présentent des inconvénients et même des dangers comme c'est le cas avec l'acétylène imprudemment employé ?

Sans doute ces dangers ont été exagérés dans le but louable d'empêcher les imprudences, et ils peuvent être évités en prenant des précautions convenables. Mais ils n'en existent pas moins tout comme pour le gaz ordinaire. Jusque dans ces derniers temps l'acétylène n'avait pas quitté le domaine du laboratoire. Sa préparation était difficile et ses applications pratiques nulles. Il était donc peu connu. Depuis qu'on a pu le fabriquer industriellement et qu'on lui a reconnu de nombreux usages, de nouvelles recherches ont été faites et tout a été remis en question.

Il est très curieux, même, de retracer la transformation des idées à ce sujet.

Dans les traités de chimie, l'acétylène est caractérisé par son odeur désagréable qu'on n'a pu mieux comparer qu'à celle de l'ail, et par sa flamme fuligineuse.

On se basait sur les expériences de Bistrow et Liebreich pour lui attribuer des propriétés toxiques ; sur les expériences de Berthelot pour lui prêter d'autres propriétés dangereuses telles que d'attaquer les métaux en formant des acétylures explosifs ou de faire explosion, en vertu de sa nature endothermique, par simple décomposition provoquée soit par une amorce détonante, soit par un choc.

Depuis, on a vu que, brûlé dans des conditions convenables, l'acétylène, loin de donner une flamme fuligineuse avait un pouvoir éclairant incomparable ; les recherches de Gréhant ([1]), de Berthelot, de Moissan, de Broxinier, ont prouvé qui'l est peu toxique et beaucoup moins en tout cas que le gaz de houille ; M. Moissan a prouvé qu'à l'état pur, loin d'avoir une odeur puante, il avait une odeur éthérée plutôt agréable ([2]).

Ses propriétés explosives auraient été aussi considérablement exagérées · « Du fait que l'acétylène peut être décomposé par une explosion, écrivait dernièrement M. Lewes, dans *The Gas World*, on a conclu qu'il était explosif même sans mélange avec l'air : c'est une erreur. Une forte amorce de fulminate de mercure, en détonant dans l'acétylène détermine une onde explosive qui ne se propage pas et s'arrête à faible distance. En pratique, il ne pourrait se produire qu'une explosion d'acétylure de cuivre et l'expérience nous a appris qu'elle n'entraînait pas celle de l'acétylène ».

Le même savant déclarait aussi que « le gaz sec et pur est sans action sur les métaux ; mais, humide, il attaque vivement le cuivre, et plus lentement les alliages de cuivre ».

Ainsi donc de toutes ces expériences, qui demandent évidemment à être confirmées et étendues, il résulte que l'acétylène est beaucoup moins dangereux qu'on ne le croyait tout d'abord, mais à une condition, c'est qu'il soit pur et sec. Malheureusement, dans la pratique, on ne l'obtient que plus ou moins souillé d'impuretés diverses, et chargé de vapeurs d'eau. Les efforts des inventeurs doivent donc tendre à obtenir avant tout un gaz pur et sec.

Ce n'est pas que les accidents provenant du fait de l'acétylène même aient été bien nom-

([1]) L'*Éclairage Électrique*, t. V, p. 278.

([2]) L'*Éclairage Électrique*, t. V, p. 278.

breux. Un seul paraît imputable aux propriétés mêmes du gaz : une explosion s'est produite dernièrement en Angleterre en tournant simplement un robinet de gazomètre. Ce robinet en laiton avait été attaqué par le gaz impur et humide et s'était recouvert d'acétylure de cuivre. Cette substance fit explosion par le frottement qui résultait de la manœuvre du robinet.

Les autres accidents, peu graves d'ailleurs doivent être attribués à des défauts de construction des appareils ou à des imprudences. Comme nous le verrons plus loin, il est très difficile d'obtenir avec la plupart des appareils actuels, un dégagement régulier d'acétylène ; le gazomètre trop rempli laisse donc parfois échapper du gaz dans l'atmosphère où il forme des mélanges explosifs quand il est en proportions convenables, ainsi que l'indique le tableau suivant qui résume les résultats qu'on obtient lorsqu'on enflamme dans une éprouvette des mélanges d'air et d'acétylène [1].

Acétylène	Air	
1 partie	1 partie —	Flamme terne, rougeâtre ; abandant dépôt de suie, fumée noir très dense ; pas explosif.
1	1,25 —	Légèrement explosif.
1	de 1,25 à 12	De plus en plus explosif.
1	12	Maximum d'explosibilité.
1	de 12 à 20	De moins en moins explosif
1	20	Plus explosif du tout.

Notre collaborateur M. Ch. Jacquin, a relaté deux accidents qui se sont produits à Paris, à la suite de travaux imprudents de soudure ou de brasure sur des appareils à acétylène. Un accident semblable s'est produit à Fécamp pendant qu'un ouvrier pratiquait une soudure sur un gazomètre.

On voit donc qu'il est nécessaire d'agir avec une extrême prudence. Les appareils à acétylène doivent être mis entre les mains de tous au même degré que les lampes à pétrole. Qu'on se souvienne que celles-ci ne sont réellement entrées dans la pratique que depuis l'époque où le pétrole a pu être suffisammen purifié pour ne pas présenter de dangers.

[1] *Lewes*, Society of Arts, 16 janvier 1895.

PRÉPARATION DE L'ACÉTYLÈNE
AU MOYEN DU CARBURE DE CALCIUM

Lorsqu'on traite le carbure de calci um pa l'eau, le résidu qui se forme occupe un volume beaucoup plus considérable que le carbure lui-même. Ce foisonnement est d'autant plus grand que l'eau est plus en excès ; si l'on abandonne un bloc de carbure à l'air humide, il dégagera lentement de l'acétylène et se transformera complètement en chaux au bout d'un certain temps, avec une très faible augmentation de volume. Mais si l'on plonge un bloc de carbure dans l'eau, le résidu formé peut atteindre 3 et 4 fois le volume primitif. Il y aurait donc intérêt à proportionner exactement la quantité d'eau employée, et même à traiter le carbure par la vapeur d'eau.

Le gaz acétylène qui se dégage est fortement échauffé par la chaleur engendrée par la réaction ; sa température est d'environ 60° à 80° C.

Dans tous les cas, après la réaction, l'acétylène contient une foule d'impuretés ; l'ammoniaque, l'hydrogène, l'hydrogène sulfuré, arsénié, carburé, l'oxyde de carbone s'y trouvent en proportions variables suivant la nature des matières employées dans les fours électriques.

L'acétylène impur attaque presque tous les métaux usuels ; son pouvoir éclairant est diminué ; il brûle avec une flamme enveloppée d'une auréole pourpre très caractéristique et peu lumineuse.

Lorsque l'acétylène est épuré, cette auréole disparaît presque entièrement.

M. Raoul Pictet a cherché à purifier le gaz avant de l'utiliser, en se basant sur ses expériences antérieures relatives aux phénomènes physiques et chimiques aux basses températures.

Son procédé consiste :

1° A faire barboter l'acétylène dans un

dissolution concentrée de chlorure de calcium refroidie à une température convenable (entre — 20° et — 40° C).

2° A faire passer le gaz dans de l'acide sulfurique à 40 pour 100 environ de concentration, refroidi à une température intermédiaire, (entre — 20° et — 60° C.

3° A opérer un lavage aux sels de plomb à la température ordinaire.

4° A dessécher le gaz en le faisant passer sur du chlorure de calcium cristallisé pour en achever l'épuration.

Le chlorure de calcium agit comme une véritable éponge sur toutes les impuretés de l'acétylène dont il enlève surtout les parties les plus dangereuses, l'ammoniaque et ses dérivés.

Si le barbottage est bien établi, toutes les traces d'ammoniaque et de vapeur d'eau disparaissaient sans altérer l'acétylène.

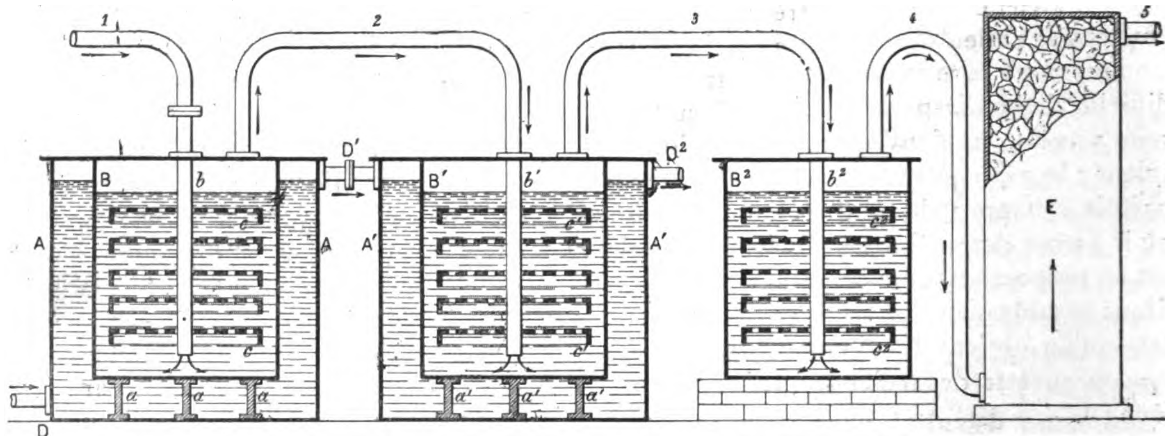


Fig. 1. — Appareil Pictet pour la purification de l'acétylène.

On sait que les réactions chimiques sont totalement supprimées aux basses températures et qu'il y a une hiérarchie dans l'ordre avec lequel les réactions s'éteignent progressivement. Or, l'action de l'acide sulfurique sur l'acétylène est supprimée déjà presque complètement à — 20° C.

On peut donc prendre des solutions d'acide sulfurique et d'eau résistant aux températures inférieures à — 20° et ne cristallisant que vers — 70° ou — 80° pour y faire barboter le gaz acétylène afin de fixer physiquement et chimiquement les impuretés dont le point de réaction avec l'acide sulfurique est placé plus bas sur l'échelle des températures que la réaction de l'acétylène pur.

Grâce à cette action simultanée de produits chimiques tels que des solutions de chlorure de calcium et d'acide sulfurique et des basses températures, on parvient à dépouiller l'acétylène d'une façon totale des impuretés dangereuses qu'il contient.

On pourrait obtenir des résultats analogues avec des solutions des différents chlorures de métaux alcalins, tels que le sodium, le magnésium, le potassium, etc., et avec d'autres acides non volatils, tels que l'acide phosphorique, par exemple.

Le lavage aux sels de plomb et le desséchage au chlorure de calcium anhydre, permettent de parachever l'épuration complète de l'acétylène.

La figure 1 représente un appareil qui permet de réaliser d'une façon pratique les différentes opérations de ce procédé d'épuration.

A A^1 sont des cuves où circule un liquide réfrigérant ; *a* a^1 sont des supports ; B B^1 B^2 sont trois cuves ; les deux premières sont placées dans les cuves A et A^1 et entourées par le liquide réfrigérant.

Des tubes verticaux *b*, b^1 b^2 amènent l'acétylène dans le bas des cuves B. Les plateaux C munis de rebords et percés de trous pour amener une grande division du gaz, facilitent

un contact plus intime avec les solutions.

Le liquide réfrigérant entre en D et passe de la cuve A dans la cuve A' par le tube D' ; il sort en D².

Le chlorure de calcium cristallisé est placé dans la colonne E.

L'acétylène à épurer arrive par le tube 1 et le tube *b*, au fond de la cuve B qui contient une solution de chlorure de calcium maintenue à la température voulue, comme nous l'avons expliqué plus haut.

Après avoir traversé cette solution en passant dans les trous ménagés dans les plateaux C, il est conduit par le tube 2 et le tube *b'* au fond de la cuve B' contenant la solution d'acide sulfurique à basse température ; il remonte dans cette cuve à travers les trous des

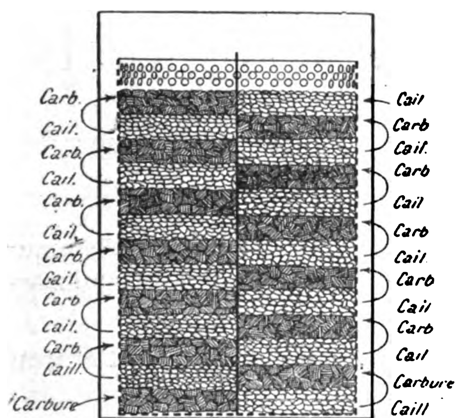


Fig. — Seau à carbure de calcium de M. Deroy.

plateaux C' pour arriver, par le tube 3 et le tube *b'* au fond de la cuve B² qui contient une solution de sels de plomb à température normale.

L'acétylène traverse cette solution en se divisant à travers les plateaux C² et pénètre dans le tube 4 pour arriver au bas de la colonne E. Il remonte dans cette colonne en achevant de s'épurer et sort par le tube *b*⁵ pour aller au gazomètre.

La production de l'acétylène par projection d'eau sur le carbure de calcium présente plusieurs graves inconvénients.

Au début, lorsque le carbure n'a encore subi aucune attaque, l'eau qui vient le mouiller est décomposée intégralement et immédiatement, c'est à dire que le dégagement de gaz est proportionnel à la quantité d'eau introduite et qu'il n'a lieu que pendant la durée du contact de l'eau. Mais au bout de peu de temps, il se forme sur les blocs de carbure une couche de chaux. Lorsque l'eau vient au contact du carbure, elle commence par imprégner cette chaux ; elle ne vient au contact du carbure non décomposé qu'après un certain temps. Le débit n'est donc plus proportionnel à la quantité d'eau introduite ; pour engendrer une quantité déterminée de gaz, c'est à dire faire monter la pression à une certaine valeur, il faut employer une quantité d'eau plus considérable que la quantité théoriquement nécessaire. Le surplus, qui a imprégné la chaux, vient peu à peu au contact du carbure qui continue à produire du gaz même lorsqu'on désirerait arrêter toute production. Il en résulte des « surproductions » de gaz à certains moments, et on est forcé de maintenir les appareils en marche tant qu'ils contiennent du carbure. Ces inconvénients sont surtout marqués dans les appareils où une grande masse d'eau reste toujours en présence du carbure et s'élève ou s'abaisse suivant les besoins de la production, car le carbure de calcium étant très avide d'humidité absorbe la vapeur d'eau qui se dégage ; il se décompose, ce qui produit de la chaleur et augmente encore la quantité de vapeur d'eau. En outre, comme le fait remarquer le Dr Clausolles, si l'eau arrive par le bas du récipient à carbure, la masse transformée augmentant et devenant friable, si son affaissement ne se produit pas peu à peu, une quantité d'eau de plus en plus grande est nécessaire pour atteindre la base du carbure non attaqué. Si la partie transformée en chaux s'affaisse subitement, une masse importante de carbure vient au contact de l'eau ; il en résulte un dégagement excessif d'acétylène, ce qui fait déborder le gazomètre.

De plus, lorsque le carbure est en partie décomposé, le dégagement d'acétylène cesse

d'être régulier ; vers la fin de la réaction, il est beaucoup plus faible qu'au début ; on est donc forcé de remplacer le carbure avant qu'il soit complètement épuisé, ce qui augmente sensiblement les dépenses et entraîne à des manipulations désagréables.

Ces inconvénients sont très sensiblement atténués si l'on adjoint au gazogène un gazomètre d'une capacité suffisante, car les différences dans la production de gaz et dans la pression résultante sont, par là, rendues insensibles aux appareils d'utilisation. Ils sont prohibitifs pour les lampes portatives.

Les inventeurs sont nombreux qui ont cherché à s'affranchir de ces inconvénients. Les uns, comme M. Trouvé, séparent le carbure en couches de faible épaisseur par des lames de verre. M. Deroy emploie un procédé analogue ; chacun des récipients à carbure est formé d'un seau en toile métallique séparé en son milieu, dans le sens de la hauteur, par une cloison. Dans chaque compartiment, il dispose en couches alternatives du carbure et du gravier, comme le représente la figure 2. L'eau arrive par le bas et attaque successivement chaque couche de carbure de calcium, en serpentant comme l'indiquent les flèches. Si l'eau arrive en trop grande quantité, une seule couche est attaquée, ce qui ne provoque pas un dégagement excessif de gaz.

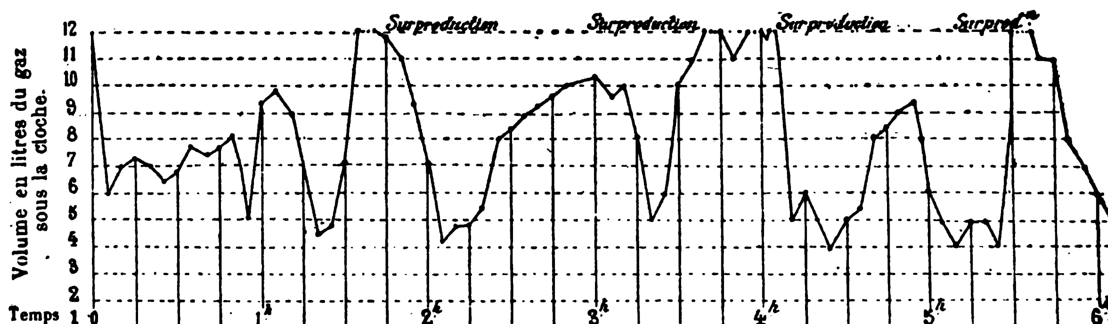


Fig. 3. — Diagramme donnant le volume d'acétylène dégagé dans l'action de l'eau sur le carbure de calcium ordinaire.

M. Bon dispose le carbure dans des petits récipients séparés qui ont une capacité telle que le volume du gaz dégagé par chacun d'eux soi précisément égal à la capacité de la cloche du gazomètre ; chacun de ces récipients est attaqué successivement.

M. Schneider a proposé d'imprégner les cristaux de carbure d'une matière indifférente à l'eau, telle que la paraffine, la stéarine, l'huile, etc. ; l'imprégnation étant faite dans le vide.

Cet inventeur a fait des essais spéciaux qui lui ont démontré que le développement du gaz par l'écoulement de l'eau n'est pas du tout arrêté complètement par ce traitement du carbure de calcium, mais seulement ralenti en proportion du degré d'imprégnation et réglementé d'une façon convenable, tandis que le dégagement du gaz en employant le carbure qui ne serait pas traité par ce procédé est absolument trop violent et trop irrégulier.

Suivant le degré désiré de production de gaz, il suffit d'augmenter ou de diminuer l'imprégnation du carbure de calcium par les matières indifférentes ci-dessus.

Ce procédé a été essayé lors des essais d'éclairage à l'acétylène des voitures de tramways, à Paris, par MM. Létang et Serpollet. Les résultats ont été très satisfaisants, comme on peut s'en rendre compte à l'inspection des courbes reproduites en figures 3 et 4, et qui donnent le volume de gaz contenu à tout moment sous la cloche du gazomètre.

Dans la première expérience (fig. 3) on avait mis dans le gazogène 2,5 kg de carbure de calcium ordinaire ; après 6 heures de temps, la dépense était de 2,1 kg. La production était très irrégulière et plusieurs fois, la quantité de gaz engendrée étant plus con-

sidérable que la capacité de la cloche, le gaz s'échappa dans l'atmosphère.

Dans la seconde série d'expériences on employait du carbure préparé. Le débit était très régulier, comme on peut le voir par l'allure de la courbe (fig. 4). De plus, la consommation du carbure ne fut que de 1 459 gr au lieu de 2 100 comme précédemment.

Dans les deux cas, la dépense totale de gaz aux becs était de 480 litres.

On pourrait aussi, au lieu de préparer le carbure, employé un liquide moins actif que l'eau. Ce procédé est aussi efficace que le précédent et beaucoup plus simple.

M. Bullier, qui a fait de nombreuses expériences à ce sujet, a proposé l'emploi de corps solides solubles dans l'eau ou de liquides miscibles avec l'eau.

Parmi les premiers il préfère le sucre, en raison de l'effet particulier qui résulte de son emploi. Si on attaque le carbure de calcium par de l'eau sucrée, non seulement la réaction s'effectue paisiblement et régulièrement, mais encore la chaux résultant de la décomposition

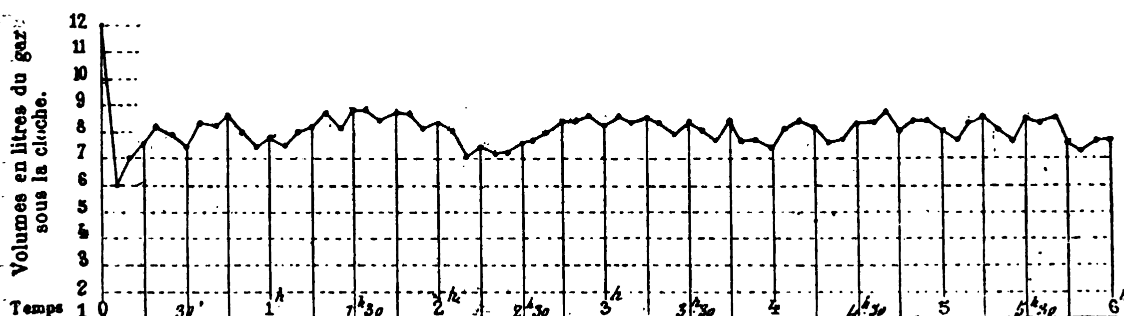


Fig. 4 — Diagramme relatif au carbure de calcium préparé par le procédé Schneider.

du carbure se transforme en sucrate de chaux et le liquide reste limpide. Le dépôt qui se forme dans l'appareil est beaucoup moins volumineux que lorsqu'on emploie de l'eau ordinaire.

Parmi les liquides miscibles avec l'eau, il préfère la glycérine et l'alcool, quoique tous les liquides se mélangeant bien avec l'eau, tels que l'acide acétique, les solutions salines, etc, puissent être employées avec succès.

La composition suivante donne de très bons résultats :

Eau.	68 parties
Glycérine.	16 »
Alcool à 90°.	16 »

Dans tous les cas, l'attaque est d'autant plus lente et plus régulière que l'eau est plus chargée de matières étrangères.

D'autres inventeurs ont cherché la solution en renversant les termes du problème, c'est à dire en projetant le carbure dans l'eau. Le premier appareil proposé dans le but de réaliser cette opération est celui de Campe, que nous décrirons plus loin avec différents autres. La plupart emploient le carbure en poudre. Il est renfermé dans un vase clos qui est ouvert automatiquement par le mécanisme lorsque, la pression baissant, il est nécessaire d'engendrer une nouvelle quantité de gaz. Il est fermé immédiatement après. Le carbure se trouve donc toujours à l'abri de l'humidité et se conserve intact. Lorsqu'il tombe dans l'eau, il donne donc lieu à un dégagement de gaz absolument déterminé ; en outre, il peut être utilisé jusqu'à la dernière parcelle.

M. J. Reyval qui a étudié la question dans une petite brochure publiée dernièrement ([1]), s'exprime ainsi, quant aux facilités de manipulation de ce corps : Le carbure en petits grains constitue une matière qui ne se manipule pas, qui ne *coule* pas, qui ne se divise pas mathématiquement comme un liquide.

([1]) J. Reyval. *L'acétylène*, Paris, *Alcan-Lévy*, 24, rue Chauchat.

D'autre part, on pouvait craindre que du carbure en poudre fine ne coulât pas suffisamment bien, déterminât des obstructions fréquentes ; il a fallu des expériences directes pour prouver que rien de semblable n'était à craindre : le carbure en poudre reste toujours parfaitement sec ; au prix de quelques précautions aisées à concevoir, il peut couler avec une grande régularité.

(*A suivre*). G. PELLISSIER.

LA DISTRIBUTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A LYON PAR LA SOCIÉTÉ DES FORCES MOTRICES DU RHONE

PROJET DÉFINITIF (1)

Matériel hydraulique. — La description de l'installation hydraulique nous conduit à donner quelques détails sur la chute et sur les dispositions générales de la station de Cusset.

Le hall des machines (fig. 6) a environ 150 m de long sur 12 de large. Il est flanqué à droite d'une écluse à deux pas et à gauche d'un bâtiment réservé au laboratoire, aux bureaux et au logement des ingénieurs de la station. On a prévu en outre, en aile sur la gauche un atelier de réparation.

Le hall sera pourvu d'un pont roulant de 25 tonnes.

Le bâtiment (fig. 11 à 16) comporte 19 chambres de turbines et 4 étages successifs. Les 3 chambres du milieu sont réservées aux turbines des excitatrices. L'étage inférieur correspond aux canaux de fuite, le second aux turbines elles-mêmes, le troisième, dont le sol est à 0,70 au dessus du niveau des plus hautes eaux contient les appareils accessoires servant au réglage, pompes à huile, etc. Enfin le 4e étage correspond au hall proprement dit et renferme les dynamos et les tableaux.

Chaque turbine possède un tuyau adducteur spécial T (voir la coupe transversale) qui peut être complètement fermé au moyen d'une vanne circulaire V actionnée par une transmission électrique. Immédiatement au devant se trouve la grille G.

Conditions de chute et de débit. — Pendant 343 jours de l'année, à raison de 19 heures par jour on aura un débit de 100 mc sous une chute variant de 12 m à 11 m 40. Lorsque la chute est de 11 m 40, on peut utiliser un supplément de débit de 67 mc pendant 253 jours à raison de 9 heures par jour et pendant 90 jours à raison de 4 heures par jour.

En basses eaux la chute fournit pendant les 22 journées complémentaires 150 mc pour une hauteur variant de 11 m à 10 m 10.

Unité de force. — La puissance prévue pour les alternateurs et les excitateurs exige 16 turbines de 1250 chevaux et 3 de 250. Les vitesses seront, comme nous l'avons déjà dit, respectivement de 120 et 250 tours à la minute.

L'installation provisoire sera limitée à 8 turbines de 1250 et 2 de 250. Les deux petites turbines seront munies de régulateurs automatiques ainsi que 4 des grandes turbines. Les 4 autres turbines de 1250 seront pourvues d'un réglage à main : ce mécanisme est toutefois conçu de telle sorte qu'il puisse éventuellement être remplacé, sans autre modification par un régulateur automatique.

Description des turbines. — En raison du nombre élevé de tours qu'exigeait l'accouplement direct des turbines et des générateurs électriques on a adopté la turbine conique à réaction représentée par la figure 17.

Les grandes turbines (fig. 17) comportent 3 couronnes d'aubes : la couronne intérieure n'entre en jeu qu'aux basses eaux, de façon à compenser, par une augmentation de débit la diminution de hauteur de chute et à pouvoir fournir constamment la puissance nominale de 1250 chevaux.

Chaque couronne d'aubes (C_1, C_2, C_3) est pourvue d'une vanne circulaire de réglage (V_1, V_2, V_3) qui peut se déplacer dans le sens vertical : ce mouvement est obtenu soit à la main, soit à l'aide du régulateur automati-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 8 août, p. 241.

que. La disposition de ces vannes réalise d'elle-même l'équilibre des pressions hydrauliques ; de plus, les deux vannes V_1 et V_2 sont disposées de telle sorte que leurs poids s'équilibrent mutuellement : elles se déplacent toujours en sens inverse l'une de l'autre. Lors donc qu'on ne fonctionnera qu'avec les deux couronnes inférieures le vannage se trouvera complètement équilibré et l'on n'aura à vaincre pour les manœuvrer que les résistances de frottement.

Lorsqu'on doit utiliser la 3e couronne, on fait tout d'abord tourner la vanne V_2 à l'aide du dispositif indiqué sur la figure, de façon à amener les trois fourches dont elle est munie latéralement en prise avec des butées ménagées sur les tiges de commande de la vanne V_1.

L'arbre A, de la turbine est pourvu d'un pivot à anneau P noyé dans une chambre à huile. Ce pivot ayant à supporter tout le poids des parties mobiles de la turbine et du générateur électrique ainsi que le poids de la colonne d'eau qui agit sur le récepteur, on a dû le soulager à l'aide d'un piston hydraulique logé à la partie supérieure de la bâche de la turbine. Ce piston D a un diamètre de 1,80 m : il transmettra à l'arbre une poussée verticale dirigée de bas en haut d'environ 20 tonnes. Le cylindre dans lequel se meut le piston D communique par sa partie supérieure E avec un tube aspirateur S qui plonge dans le canal de fuite.

Ce dispositif permet d'utiliser au soulagement du pivot la hauteur totale de la chute. Il permet, en outre, en manœuvrant la valve à papillon *d*, insérée sur le tube aspirateur de modérer à volonté la pression agissant sur le piston D.

Les turbines d'excitatrices sont de construction exactement semblable aux turbines d'alternateurs ; elles n'ont toutefois que deux couronnes d'aubes seulement, et, par conséquent leur vannage se trouve toujours complètement équilibré.

Le rendement garanti en pleine charge est de 76 pour 100, quelle que soit, dans les li-

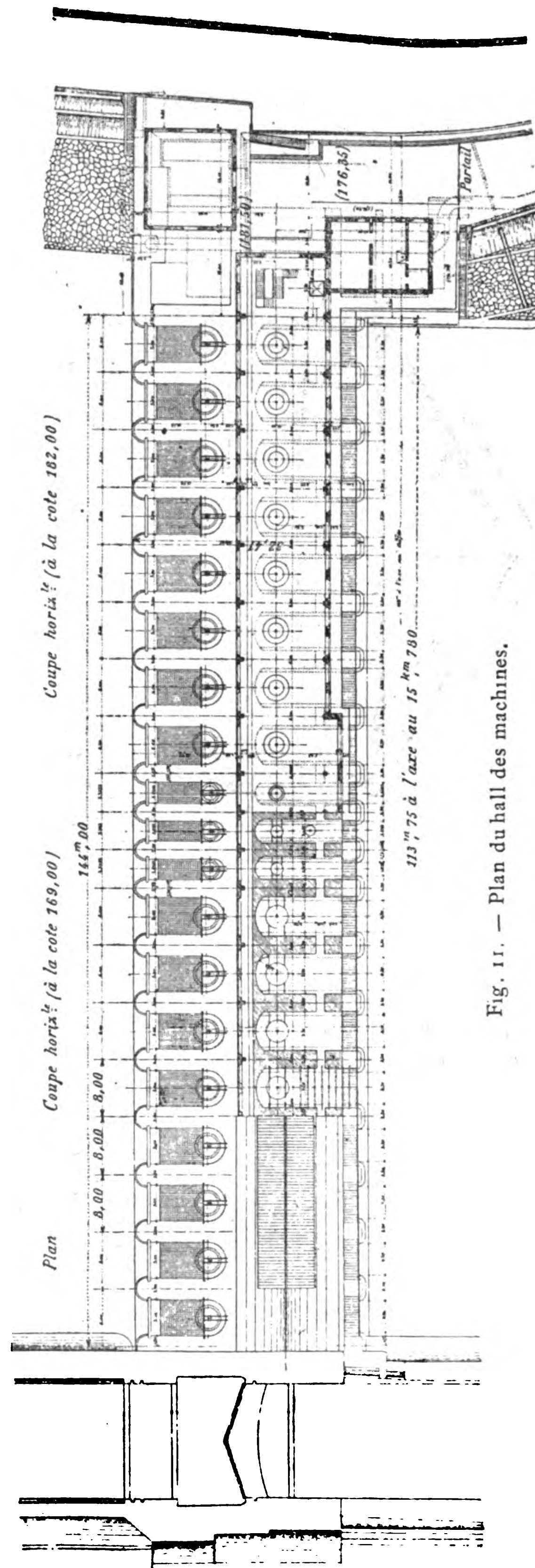


Fig. 11. — Plan du hall des machines.

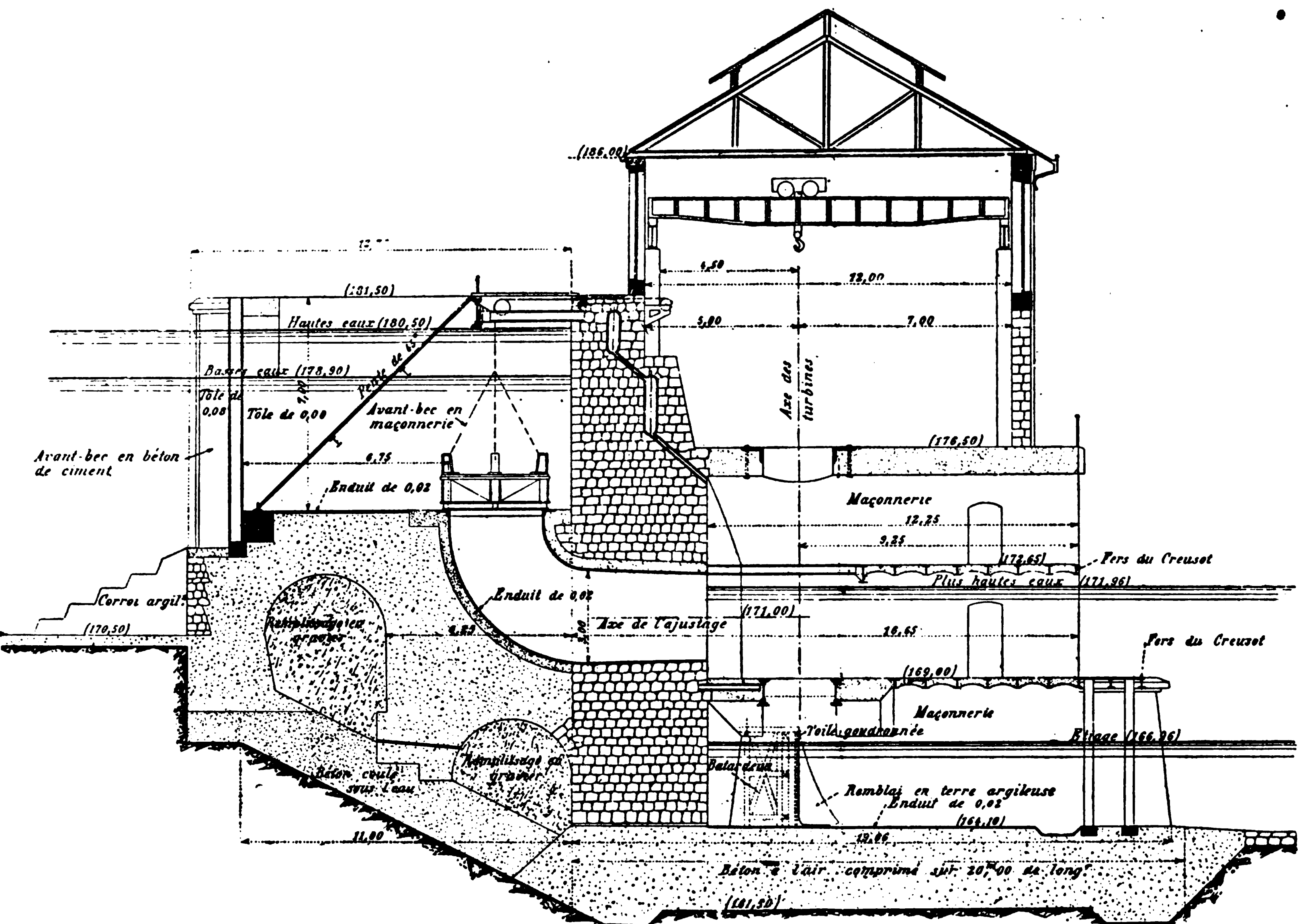


Fig. 12. — Coupe transversale du batiment des machines.

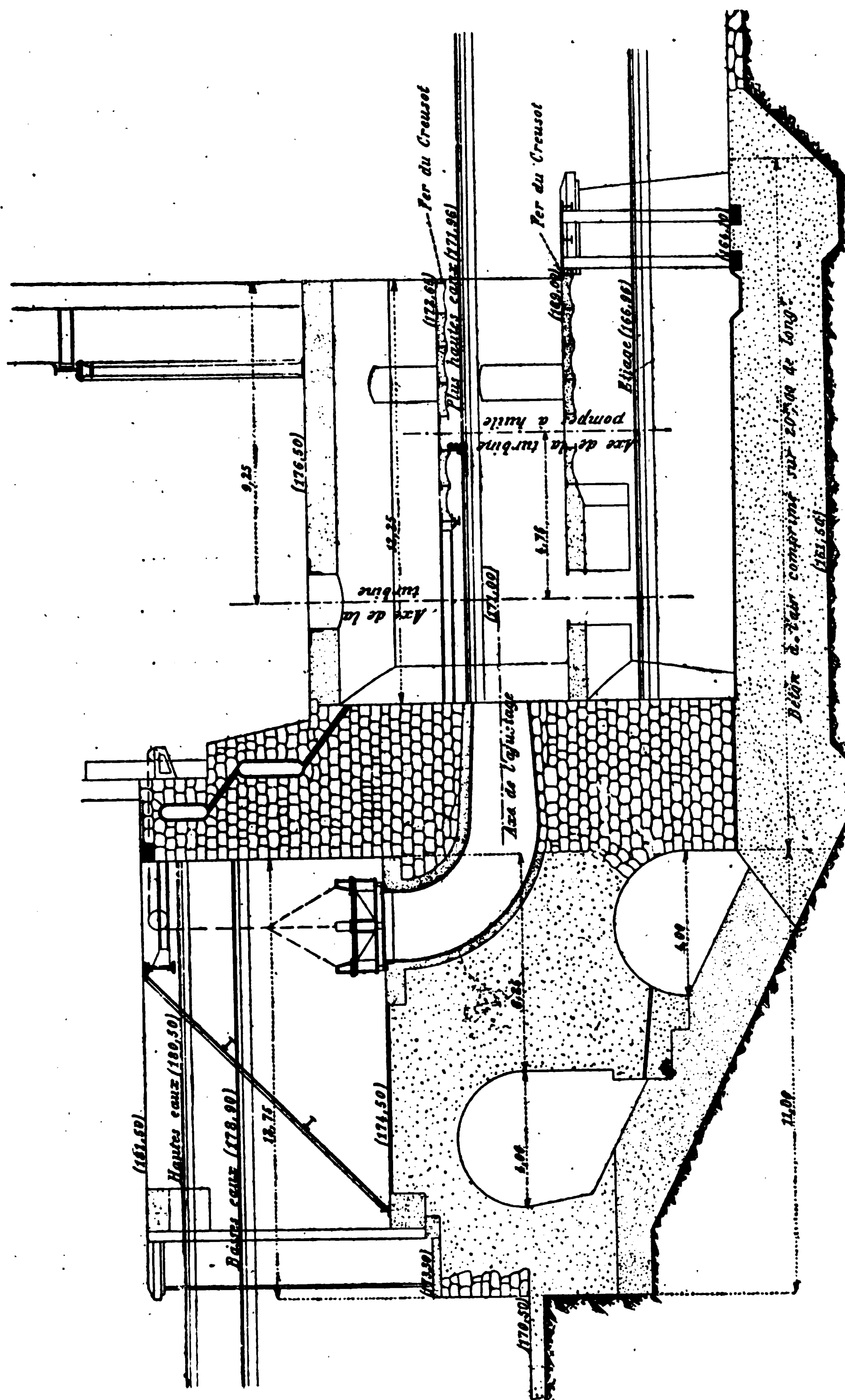


Fig. 13. — Coupe transversale montrant l'emplacement des turbines.

mites indiquées précédemment, la hauteur de la chute.

La figure 18 représente diverses pièces des turbines en construction aux ateliers Escher Wyss.

Régulateurs. — Le régulateur servo-moteur est représenté par la figure 19. Il comporte un tachymètre centrifuge T dont tous les leviers sont montés sur couteaux : ce tachymètre commande une soupape régulatrice V qui peut ouvrir ou fermer deux orifices pratiqués dans le corps du cylindre C et communiquant respectivement avec un réservoir d'huile sous forte pression et avec un réservoir où ne s'exerce que la pression atmosphérique.

Le plus léger mouvement de cette soupape vers le bas restreint l'ouverture d'admission de l'huile et agrandit l'ouverture de sortie; cette double action a pour effet une diminution prompte et énergique de la pression dans le cylindre C. Comme le cylindre annulaire R est en communication constante avec le réservoir d'huile sous pression, le piston tendra à se déplacer de la droite à la gauche en entraînant le vannage. Par suite de ce déplacement le plan incliné E relèvera la soupape et la ramènera à sa position d'équilibre lorsque la vitesse de régime sera rétablie. Le mouvement ascentionnel du régulateur T provoque un déplacement vers le haut de la soupape V entraînant une augmentation de pression dans le cylindre C et un déplacement du piston de gauche à droite. De même que précédemment, par l'intermédiaire de la tige verticale F du levier H et de plan incliné E, dont l'ensemble constitue le servomoteur, la soupape V se trouve ramenée à sa position d'équilibre lorsque la vitesse a repris sa valeur normale.

La sensibilité de ce régulateur est telle qu'il n'existe aucun point mort : les leviers et les vannes circulaires de règlage suivent les mouvements du régulateur comme s'ils étaient rigidement reliés ensemble et si ce dernier produisait lui-même artificiellement l'énergie employée.

Nous avons eu, tout récemment, l'occasion d'en étudier le fonctionnement à la station de Wadensweil et nous l'avons trouvé, en tous points irréprochable.

Les constructeurs ont d'ailleurs donné les garanties suivantes :

1° De charge nulle à charge maxima ou inversement, le nombre de tours ne variera pas de plus de 1 pour 100 en plus ou en moins du nombre de tours normal;

2° En fonctionnement normal il ne se produira pas de variations dépassant 1 pour 100.

3° Lors de brusques chargements de charge la vitesse ne variera pas dans de plus grandes proportions qu'il n'est indiqué ci-après :

Variations de charge	Variations dans le nombre de tours
$\frac{1}{4}$	2,5 °/。
$\frac{2}{4}$	4 °/。
$\frac{3}{4}$	6 °/。
$\frac{4}{4}$	8 °/。

4° Après chaque variation dans le nombre de tours le régulateur ramènera immédiatement et automatiquement la vitesse à son taux normal.

Mesure des rendements.—Turbines.—L'énergie mécanique produite à l'arbre de la turbine sera évaluée par la mesure de l'énergie électrique produite par l'alternateur en tenant compte de son rendement. En d'autres termes on freinera la turbine à l'aide de son alternateur.

La mesure du volume d'eau absorbée sera faite dans le sens d'admission à l'aide de l'appareil Woltmann, immédiatement avant l'entrée de l'eau dans la conduite d'admission : elle sera d'ailleurs contrôlée par un calcul basé sur la section et la vitesse de sortie de l'eau dans la roue motrice.

La hauteur de chute (qui devra, lors des déterminations, être comprise entre 12 et 10 m) sera mesurée par un nivellement de l'eau dans le canal d'amenée à 75 m en amont de

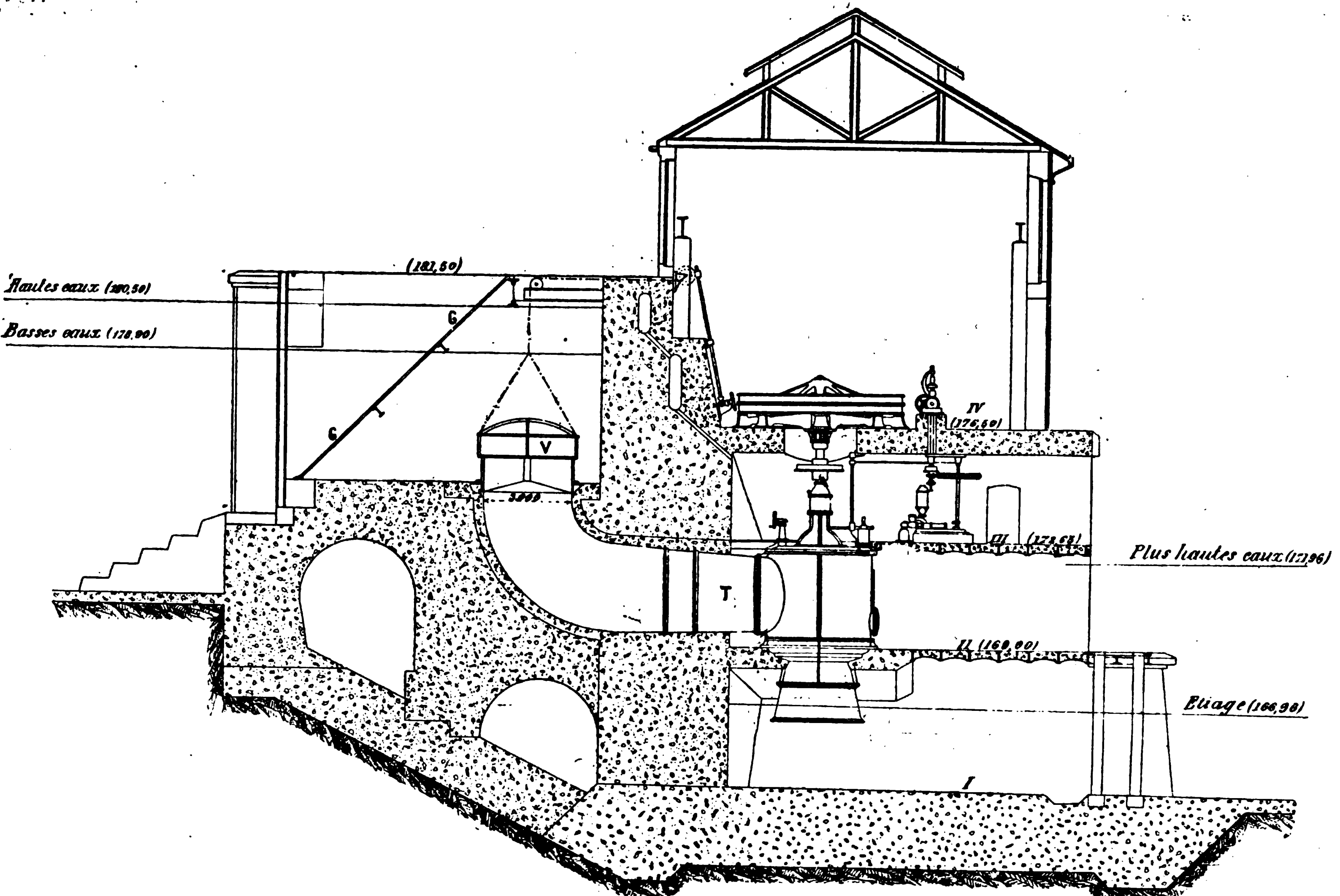


Fig. 14. — Coupe transversale indiquant la disposition des turbines et des génératrices.

l'axe de la turbine et dans le canal de fuite à 20 m au-delà de l'extrémité aval de l'aqueduc de fuite.

Alternateurs. — Le rendement des alternateurs sera déterminé en mesurant séparément :

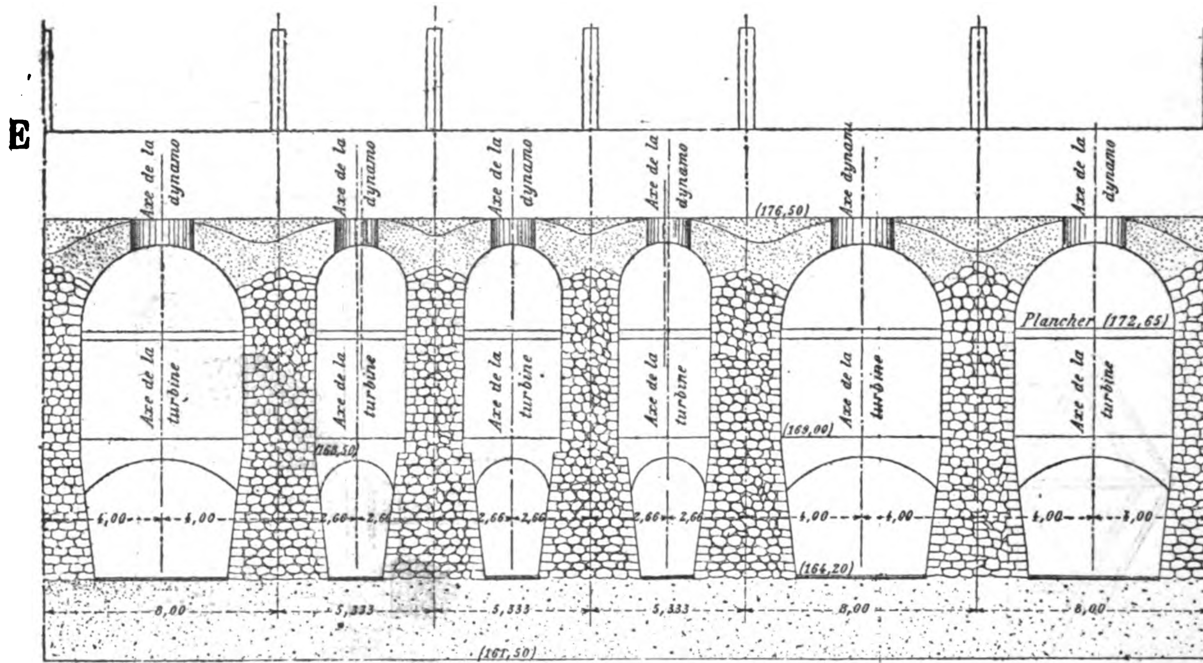


Fig. 15. — Coupe longitudinale.

1° l'énergie électrique fournie W ;
2° l'énergie utilisée à l'excitation P ;
3° l'énergie dissipée par l'échauffement des conducteurs d'induit : P'

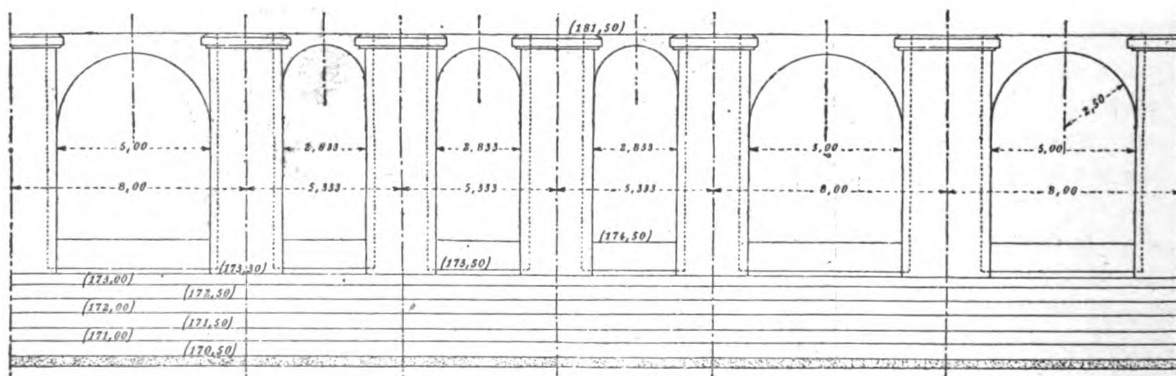


Fig. 16.

4° l'énergie dissipée par les frottements mécaniques, les courants parasites et l'hystérésis : P''
et en appliquant la formule

$$R = \frac{W}{W + P + P' + P''}.$$

La mesure des quantités W, P, P' ne présente aucune difficulté : il en est pas tout à fait de même de la quantité P''. Cette dernière se compose en effet de 3 termes distincts dont le premier (*a*), relatif aux frottements n'est fonction que de la vitesse tandis que les deux autres (*b* et *c*) dépendent du flux total à travers l'induit.

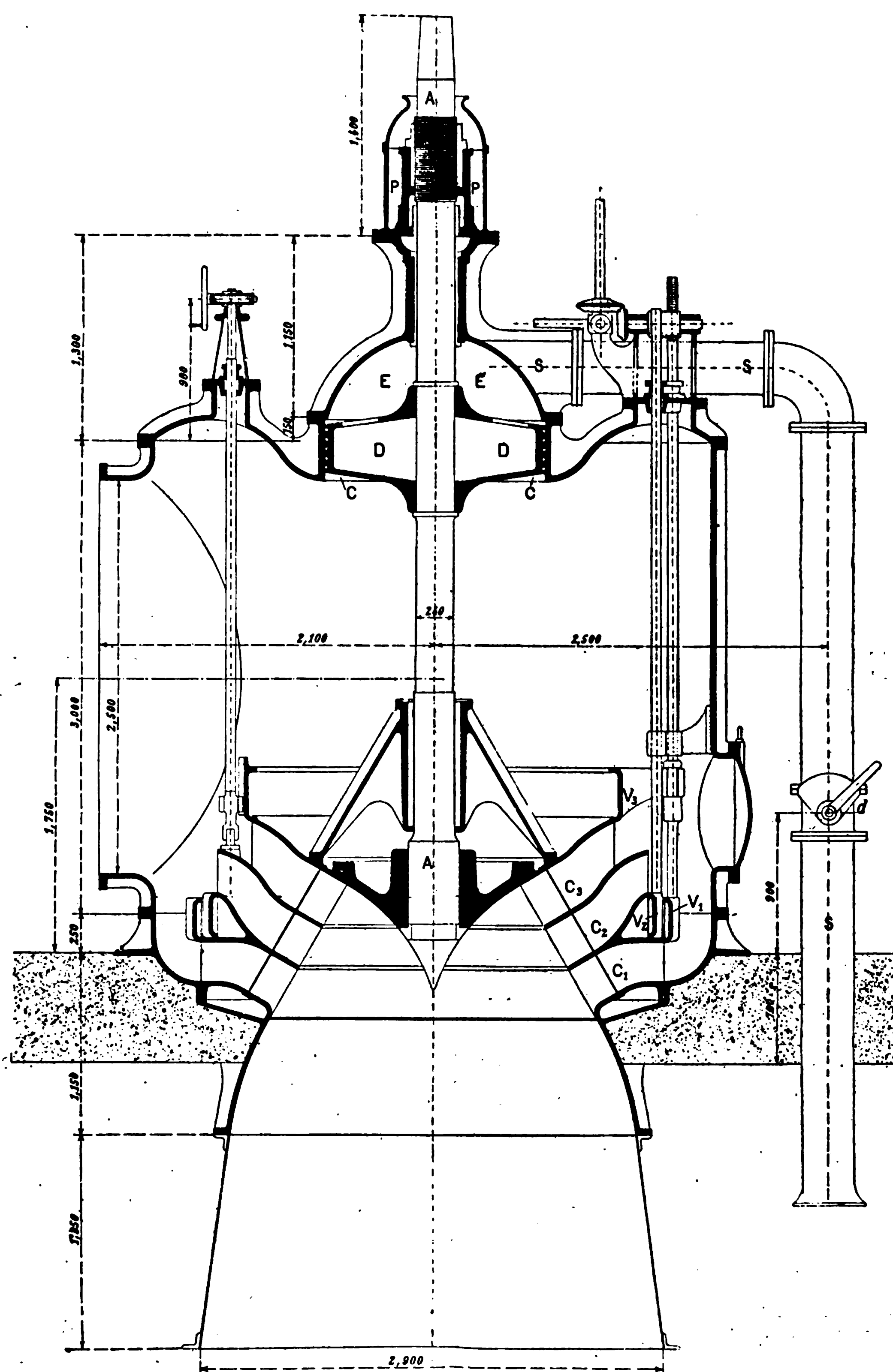


Fig. 17. — Coupe des turbines.

La méthode proposée par M. Brown consiste à évaluer directement, par le calcul, le terme a et à déterminer expérimentalement les termes b et c. Dans ce but on monte, sur l'arbre commun à la turbine et à l'alternateur, un frein d'une puissance d'environ 50 H P. Au commencement de chaque détermination, ce frein doit être complètement desserré. On

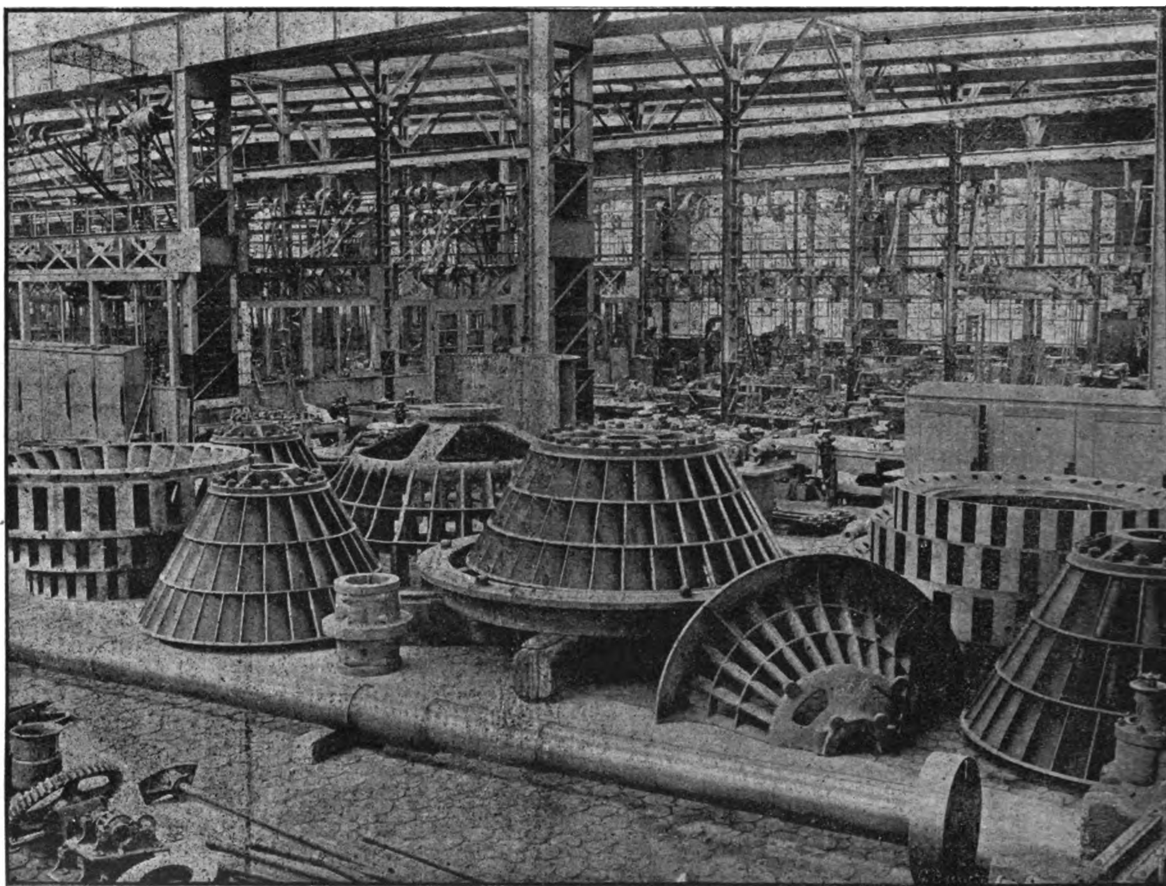


Fig. 18. — Turbines de 1200 HP en construction aux ateliers Escher Wyss.

excite les inducteurs à un taux déterminé, puis, tout en laissant le circuit induit ouvert, on manœuvre le vannage de façon à obtenir la vitesse de régime. On diminue ensuite graduellement l'excitation jusqu'à zéro et, sans toucher au vannage, on serre le frein de manière à maintenir la vitesse constante. On détermine ainsi très facilement l'ensemble des termes b et c pour les différentes valeurs du courant inducteur. Cette méthode ne permet malheureusement pas de déterminer expérimentalement a et il y a grand intérêt à connaître aussi exactement que possible le rendement de l'alternateur puisque, comme nous l'avons dit précédemment, on doit évaluer le rendement de la turbine en se servant de l'alternateur comme frein d'absorption.

Pour déterminer expérimentalement a, nous avons projeté de généraliser la méthode de M. Brown. Il suffit pour cela de disposer un frein d'environ 20 H P au-dessous du manchon d'accouplement, on lance la machine. Tout courant d'excitation étant supprimé et le frein est desseré a sa vitesse de régime; puis

après avoir soigneusement repéré la position du vannage, on arrête momentanément la turbine pour permettre de découpler l'alternateur et de soulever l'inducteur.

Le pivot de la turbine se trouve ainsi déchargé d'environ 17 tonnes. Comme le piston d'équilibrage D produit une poussée verticale de bas en haut de 20 tonnes environ, on peut en manœuvrant la valve papillon d placé sur le tube aspirateur S (voir fig. 17) ramener la pression sur le pivot à sa valeur normale. Il suffit alors de replacer le vannage dans la position repérée et de serrer le frein de façon à obtenir la vitesse de régime.

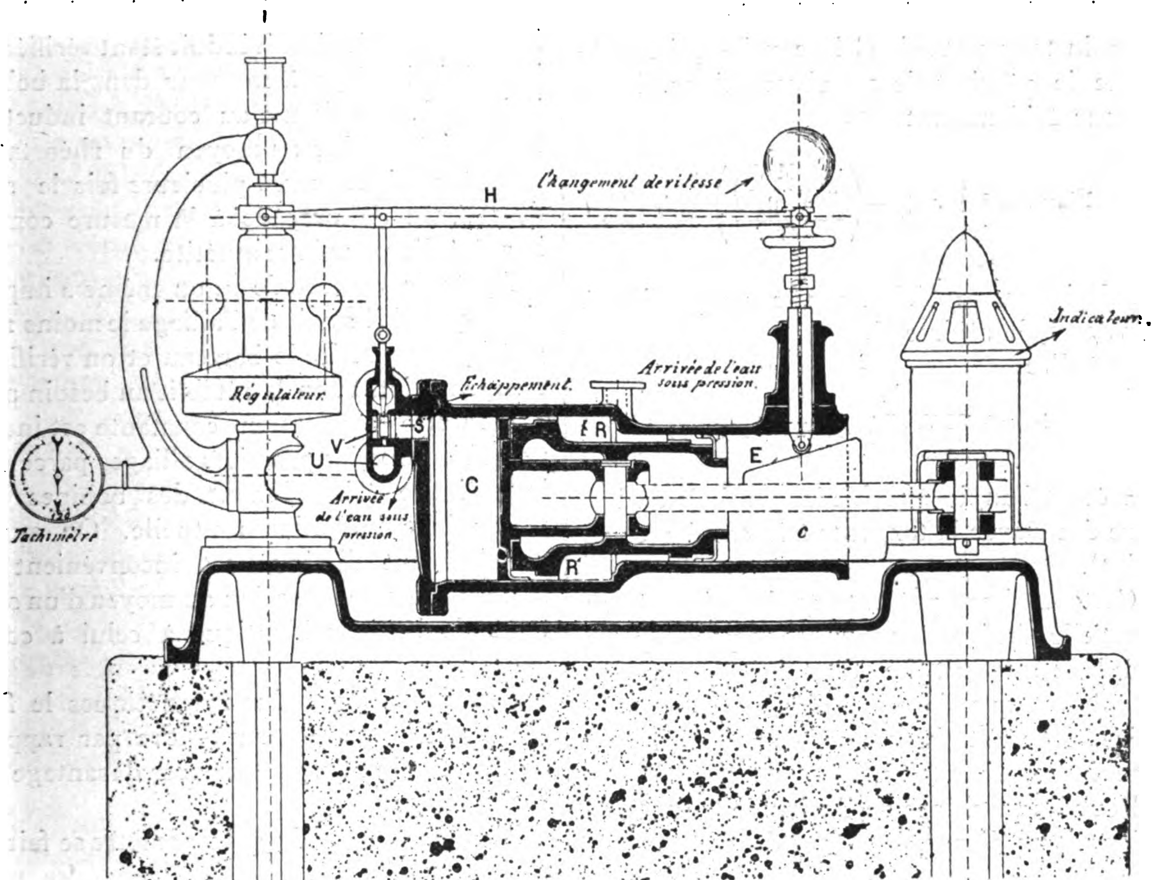


Fig. 19. — Régulateur servo-moteur.

Il faut remarquer, que la valeur de (a) ne dépendant, ainsi que nous l'avons déjà dit, que de la vitesse, sa détermination ne donne lieu qu'à une seule expérience.

Cette intéressante étude de la mesure du rendement nous a conduit à imaginer une méthode différente qui permet de déterminer directement la somme des termes (a), (b) et (c). Elle repose sur le même principe que la méthode « chronométrique » employée dans les compagnies de chemins de fer pour mesurer la résistance de trains.

Soit M la masse des pièces mobiles, R le rayon de giration et V la vitesse d'un point situé à la distance R de l'axe.

L'énergie cinétique est, à chaque instant représentée par le produit $\frac{1}{2} M V^2$. — La construction même de la machine permet de déterminer M et R : on peut donc à chaque instant connaître V en fonction du nombre de tours.

Supposons qu'après avoir excité les induc-

teurs à un taux déterminé, on lance la machine à une vitesse légèrement supérieure à sa vitesse de régime puis qu'on, supprime brusquement l'accouplement de la turbine à l'alternateur et qu'on laisse ce dernier s'arrêter sous l'influence des résistances dues aux frottements, aux courants parasites et à l'hystérésis. Observons la variation de V en fonction du temps et soit C la courbe qui représente le résultat de ces observations. Nous aurons évidemment

$$P'' = a = b + c + -\left(\frac{d\left(\frac{M V^2}{R}\right)}{dt}\right)_{t=t_1}$$

(en désignant par t', le temps correspondant à la vitesse de régime V_1
c'est à dire

$$P'' = -M V_1 \left(\frac{d t}{d t}\right)_{t_1 t_1} = MA, \text{ tg}\, \alpha$$

α étant l'angle que fait la parallèle en P à l'axe des t avec la tangente à la courbe en ce point).

Cette méthode présente quelq e intérêt en ce qu'elle n'exige, aucun autre appareil qu'un simple chronographe dont les dimensions n'excèdent que de celles d'une montre ordinaire. Elle est directement applicable aux machines horizontales.

Pour les machines de l'usine de Cusset elle exigerait un dispositif spécial destiné à servir de pivot à l'alternateur découplé.

Telle est, dans ses lignes générales, l'organisation technique de l'usine de Cusset.

Nous ne saurions terminer sans rappeler que le promoteur de cette grande entreprise française est M. J. Raclet, actuellement administrateur délégué de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône et que les travaux sont exécutés sous la direction de M. A. Gotteland, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

J. L. ROUTIN,
**Ancien élève de l'Ecole Polytechnique,
Ingénieur à la Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône.**

AIMANTATION DES ALLIAGES DE FER ET D'ANTIMOINE (¹)

5. MARCHE ET CALCUL D'UNE EXPÉRIENCE

La compensation de l'induction du circuit inducteur sur le circuit induit étant vérifiée on introduit l'alliage à mesurer dans la bobine induite h. On donne au courant inducteur l'intensité voulue au moyen du rhéostat R et après avoir renversé plusieurs fois le sens du courant on procède à la mesure comme il a été dit pour la magnétite.

Après la mesure de 4, ou même 2 impulsions quand il s'agit de l'alliage le moins magnétique, on retire le barreau et on vérifie la compensation et on la rétablit au besoin avec c_2 C_2. Cette vérification constante est indispensable pour les premiers alliages parce que le moindre échauffement des bobines fait varier leur induction mutuelle. On aurait certainement diminué cet inconvénient en réalisant la compensation au moyen d'un système de bobines identique à celui à compenser.

Pour les alliages plus magnétiques le flux compensé à une valeur moindre par rapport au flux total et on peut espacer davantage les vérifications.

L'étalonnement du galvanomètre se fait de la même manière que pour la magnétite, plusieurs fois dans une série de mesures.

Soient :

δ une impulsion observée,

F le flux qu'elle mesure,

K la constante donnée par l'étalonnement du galvanomètre,

ΔI la variation de l'intensité d'aimantation,

n le nombre de tours de la bobine induite,

σ la section du barreau,

S l'aire totale de la bobine,

N le facteur démagnétisant défini comme quotient du champ démagnétisant au centre

(¹). Voir *L'Éclairage Électrique*, du 8 août, p. 248.

du barreau par l'intensité d'aimantation au même point (¹).

On aura

$$\delta = KF = K(4\pi n\sigma\Delta I - N\Delta IS)$$
$$= 4\pi K n\sigma\Delta I\left(1 - \frac{NS}{4\pi n\sigma}\right).$$

Indépendamment de l'altération du champ par la présence du corps magnétique le facteur N intervient donc dans un terme correctif de l'intensité d'aimantation, mais tandis que le champ est d'autant moins modifié que la substance est moins magnétique, l'importance relative de la correction de l'aimantation est sensiblement constante.

Dans les corps peu magnétiques le champ démagnétisant n'agit pas d'une manière appréciable sur la distribution de l'aimantation, de sorte que dans un champ uniforme elle serait partout uniforme et parallèle au champ. Nous pouvons supposer qu'il en est ainsi pour les 5 premiers alliages; nous avons alors sur les surfaces terminales une densité magnétique $I = kH$ et le champ démagnétisant dans le voisinage immédiat de ces surfaces est égal à la moitié de la discontinuité introduite dans le champ par cette couche magnétique, c'est-à-dire

$$2\pi I = 2\pi kH.$$

Or, pour le plus magnétique de ces alliages $k = 0{,}005$ donc,

$$2\pi I = 0{,}03\ H.$$

Mais le champ démagnétisant que nous venons de calculer est une limite supérieure de celui qui existe réellement ; nous pouvons donc affirmer qu'il n'atteint pas 3 pour 100 dans les bouts du barreau. Supposons maintenant pour le calcul de la valeur de N au milieu du barreau que les couches magnétiques aux deux extrémités se réduisent à des points de masse magnétique

$$+I\sigma \quad \text{et} \quad -I\sigma,$$

sur l'axe, nous aurons :

$$NI = 2\frac{I\frac{\pi d^2}{4}}{\frac{l^2}{4}} = 2\pi\frac{d^2}{l^2}I,$$

en appelant d le diamètre et l la longueur du barreau.

Pour $\frac{l}{d} = 13 \quad N = 0{,}037$ et $\frac{NS}{4\pi n\sigma} = 0{,}007.$

Pour ces 5 premiers barreaux l'importance relative de la correction est par conséquent très petite. Nous avons supposé ici le champ uniforme, mais nous avons vu qu'il diminuait de 7 pour 100 vers les extrémités du barreau. N est donc un peu plus fort, mais une erreur même très sensible sur N a sur le résultat final une influence minime.

Pour les 5 alliages les plus magnétiques le terme correctif, sans avoir beaucoup plus d'importance, n'est plus égal à la valeur que nous venons de calculer. Nous allons nous occuper de sa détermination en même temps que de la correction du champ qui devient appréciable.

Le champ au centre du barreau est

$$H - NI = H(1 - Nk).$$

Pour le plus magnétique des 5 premiers alliages on a approximativement :

$$Nk = 0{,}037 \times 0{,}005 = 0{,}00018.$$

qui est tout à fait négligeable. Pour l'alliage le plus magnétique au contraire la valeur de k comprise entre 1 et 0,4 donne une correction sensible. Pour la déterminer expérimentalement j'ai appliqué à cet alliage la méthode de la double bobine. Mais tandis que dans l'étude de la magnétite je mesure le champ total, je compense, pour le champ comme pour l'aimantation, l'induction mutuelle des bobines, par une induction mutuelle égale et contraire, avant d'introduire la matière magnétique. Alors si on appelle D la différence des aires des deux parties de la bobine, on mesurera directement :

$$DNI,$$

au lieu de :

$$D(H - NI).$$

Sous cette forme la méthode a l'avantage de donner en plus de la valeur du champ, quand le champ extérieur est connu, une dé-

(¹) Cette définition, appropriée à la méthode employée ici, n'est qu'approximativement identique à celle qui a été donnée pour les disques.

termination précise de N pour chaque point des cycles d'aimantation.

Je réunis les résultats de ces mesures dans le tableau suivant.

Cycle I	H	I	N
	+ 0,84	− 9,1	0,092
	+ 23,9	+ 24,4	0,068
	+ 55,1	+ 48,3	0,059
	+ 22,5	+ 30,8	0,066
	− 0,84	+ 9,1	0,092

Cycle II	H	I	N
	+ 1,0	− 13,2	0,079
	+ 29,3	+ 28,4	0,067
	+ 70,1	+ 58,6	0,057
	+ 109,8	+ 78,2	0,052
	+ 70,1	+ 61,8	0,054
	+ 28,8	+ 39,6	0,061
	− 1,0	+ 13,2	0,079

Cycle III	H	I	N
	+ 1,2	− 16,6	0,072
	+ 31,5	+ 27,7	0,071
	+ 107,2	+ 78,8	0,053
	+ 165,4	+ 100,5	0,049
	+ 208,4	+ 114,9	0,048
	+ 165,3	+ 102,3	0,049
	+ 107,1	+ 81,1	0,051
	+ 30,9	+ 44,5	0,059
	− 1,2	+ 16,6	0,072

Cycle IV	H	I	N
	+ 1,3	− 17,9	0,073
	+ 33,2	+ 28,0	0,070
	+ 153,7	+ 95,3	0,050
	+ 296,1	+ 140,2	0,047
	+ 153,6	+ 99,8	0,049
	+ 32,5	+ 47,1	0,058
	− 1,3	+ 17,9	0,073

Dans la figure 4 j'ai porté en ordonnées les intensités d'aimantation et en abscisses les champs démagnétisants N I. Il se présente ce fait assez remarquable que tous les points se rangent sur une même courbe à quelques petits écarts près qui ne semblent pas avoir un caractère systématique. De sorte, que même dans les variations cycliques, le champ N I est fonction de l'intensité d'aimantation seule et indépendante de la manière dont elle a été obtenue.

Cette courbe concave du côté de l'axe des ordonnées près de l'origine devient sensiblement rectiligne à partir de $I = 30$ C.G.S. N est égal à 0,092 pour les plus petites aimantations et décroît jusqu'à 0,047.

Cette dernière valeur n'est plus bien éloignée de $N = 0{,}037$ que le calcul nous a donné pour le cas d'une aimantation uniforme parallèle à l'axe dans toute l'étendue du barreau. Si nous nous rappelons que le champ n'est pas uniforme et décroît de 7 pour 100 vers l'extrémité du barreau, 0,047 — 0,037 nous donnera évidemment une limite supérieure de l'influence de cette non uniformité sur la valeur de N.

On peut interpréter la variation de N en fonction de I seulement, en disant qu'à intensité égale d'aimantation, la distance des pôles est la même que l'aimantation soit temporaire ou résiduelle et que cette distance croît quand l'intensité d'aimantation augmente.

Avant de faire cette série d'expériences, j'en ai fait une autre sans employer la méthode de la double bobine, que j'ai calculée avec un coefficient démagnétisant constant. C'est cette série que représente la ligne brisée 10 de la figure 25, dans le voisinage de laquelle sont marqués par ⊕ les sommets des quatre cycles dont il vient d'être question. La comparaison de ces résultats montre que, bien qu'accessibles à l'expérience, les erreurs provenant de l'hypothèse N = constant, ne modifient que très peu la forme de la courbe.

Je me suis dispensé, par conséquent, de reprendre par la méthode de la double bobine les expériences déjà faites pour les autres alliages. J'ai seulement déterminé par quelques expériences une valeur moyenne du facteur démagnétisant des barreaux 8 et 9. J'ai trouvé pour les deux .

$$N = 0{,}055$$

Enfin pour les barreaux 6, poreux dans toute sa masse, et 7 présentant quelques cavités, une correction de cette espèce n'aurait guère de sens et j'ai conservé les valeurs calculées primitivement, en supposant l'aimantation uniformément parallèle à l'axe. J'estime que les erreurs ainsi commises sur ces

deux derniers barreaux ne dépassent pas 2 à 3 pour 100. Elles ne sont d'ailleurs pas beaucoup supérieures à celle de la mesure de la section du barreau dont le diamètre était

Fig. 4. — Alliage 10. Fonction démagnétisante.

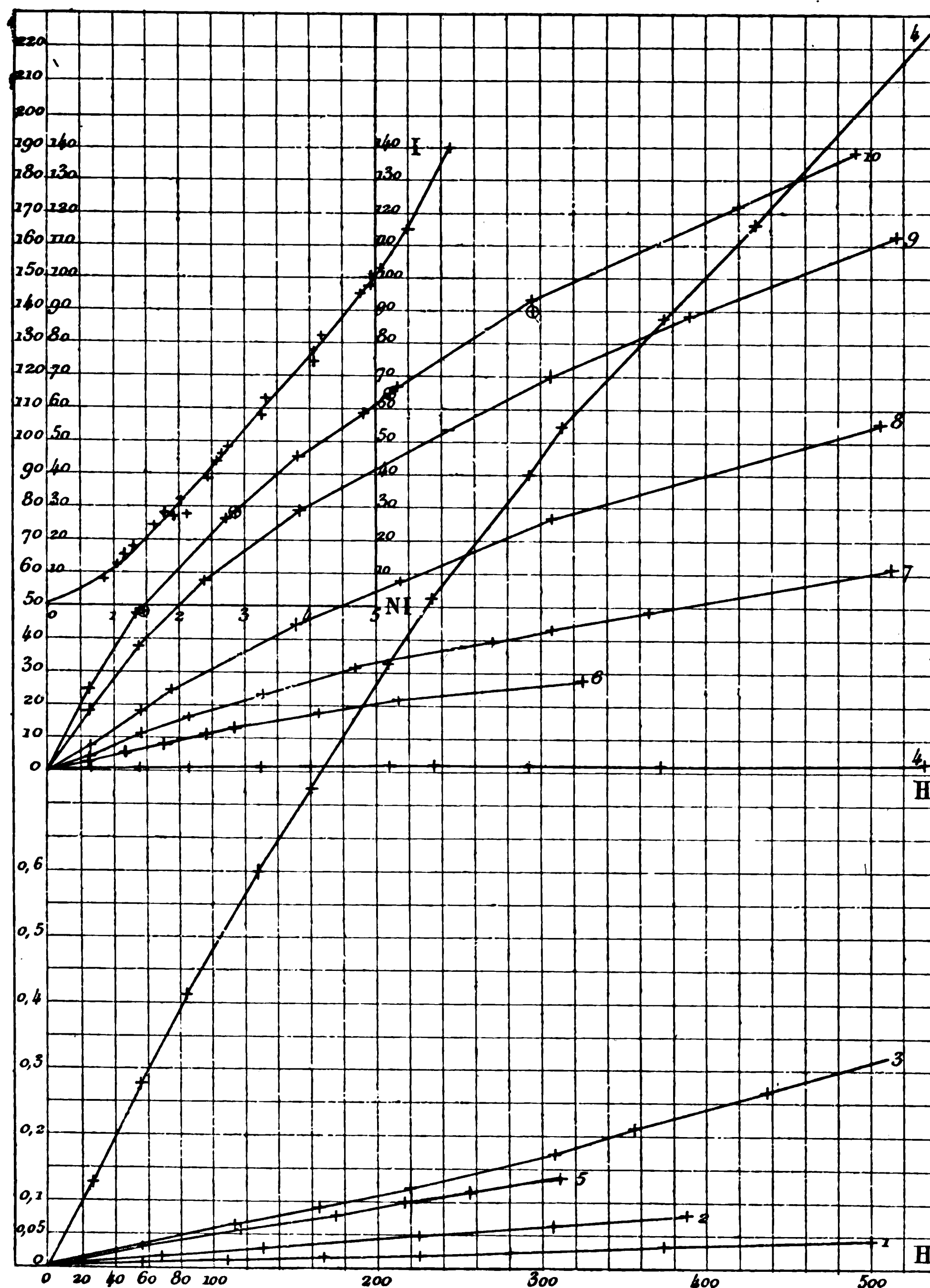


Fig. 5. — Courbes d'aimantation des alliages de fer et d'antimoine ([1]).

([1]) Le chiffre 4 placé à l'extrémité droite de la courbe de la figure 4 se confondant presque avec l'axe O H doit être remplacé par 5 ; le chiffre 4 placé à l'extrémité de la courbe de la figure 5 aboutissant à l'angle supérieur de droite doit également être remplacé par 5 ; au contraire le chiffre 5 de la troisième courbe à partir du bas doit être remplacé par 4.

connu à $\frac{1}{10}$ ou de mm, ce qui introduit une erreur de 2 pour 100 sur la section.

Aussi si j'ai cherché une précision plus grande dans ce qui précède, c'est moins pour la détermination précise en valeur absolue de l'aimantation de corps aussi peu définis que ces alliages et sujets à toutes les variations que peuvent amener des accidents de trempe et de légères impuretés, que pour développer correctement la nouvelle méthode de mesure que j'ai employée.

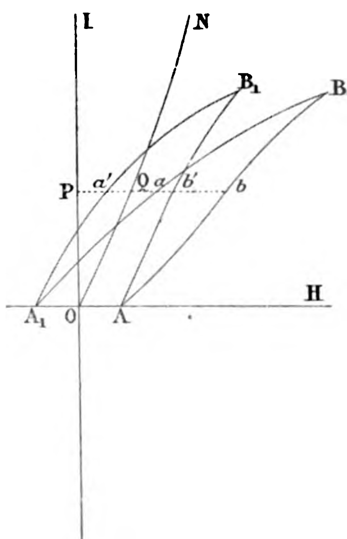


Fig. 6.

Quelques mots maintenant sur la manière dont sont évaluées les aires des cycles. Elles sont limitées par deux courbes assez voisines dont chacune est entachée d'erreurs expérimentales. La différence des ordonnées des points de même abscisse est connue par conséquent avec une précision relative moindre que l'ordonnée de chaque point.

Mais la forme régulière des cycles permettait de penser que la mesure des aires ne serait pas illusoire et cela d'autant plus facilement que le nombre de points intervenant dans la mesure d'une aire étant assez grand, les erreurs accidentelles pouvaient se compenser dans une certaine mesure. La régularité des résultats est venue à l'appui de cette opinion.

Il était nécessaire, pour réduire les erreurs au minimum, de déduire l'aire aussi directement que possible des observations. Montrons d'abord que l'aire de la courbe brute obtenue sans correction du champ démagnétisant est égale à l'aire de la courbe corrigée, quand le champ démagnétisant est fonction de l'intensité d'aimantation seulement.

Cette dernière condition est rigoureusement remplie pour un ellipsoïde pour lequel N = constant. Nous l'avons trouvée satisfaite, expérimentalement, pour l'alliage le plus magnétique. On ne commet certainement aucune erreur appréciable en admettant qu'il en est de même pour les autres.

On passe de la courbe brute à la courbe corrigée par la construction suivante, indiquée par Lord Rayleigh (¹).

Soient (fig. 6) :

ABA_1 la courbe brute ;

AB_1A_1 la courbe corrigée ;

ON la courbe démagnétisante dont les ordonnées sont égales à l'intensité d'aimantation I et les abscisses au champ démagnétisant NI.

Partant d'un point quelconque *a* de la courbe brute on obtient le point correspondant *a'* de la courbe corrigée en conservant l'ordonnée I et en retranchant de l'abscisse H l'abscisse PQ du point de même ordonnée de la courbe démagnétisante. Dans cette construction, la largeur du cycle $ab = a'b'$, se conserve et l'on effectue un simple déplacement, parallèle à l'axe des abscisses, des éléments de l'aire découpés par des droites parallèles à cet axe.

Nous pouvons donc faire la mesure de l'aire sur la courbe brute.

Mais dans cette dernière les observations donnent directement les deux points de même abscisse, puisqu'on interrompt le cycle dans les branches ascendante et descendante pour la même valeur du courant inducteur. On a donc les différences des ordonnées sans passer par l'intermédiaire d'aucune courbe et l'on obtient une aire équivalente à celle de la

(¹) Lord Rayleigh, *Phil. Mag.* 5 s, t. 22, p. 175, 1886.

courbe, mais de forme plus simple en portant en ordonnées ces différences à une échelle convenablement augmentée, les abscisses étant celles de la courbe d'aimantation brute. La figure 7 représente les courbes ainsi obtenues pour l'alliage 8. La mesure de leur aire se fait très simplement en comptant les carrés du papier quadrillé sur lequel elles sont tracées. Ce mode d'évaluation suffisamment précis a l'avantage d'être indépendant de la déformation du papier.

Dans les expériences sur la magnétite, on ne possédait pas la courbe brute, la courbe corrigée étant donnée directement par la méthode de la double bobine. On passait graphiquement de cette courbe à la courbe représentant la différence des ordonnées des deux branches en fonction du champ, sur laquelle on faisait la mesure de l'aire par le procédé indiqué.

6. Résultats

Les principaux résultats sont contenus dans les tableaux suivants :

N = 0,055.

Alliage I. Composition : Fer 26,0 pour 100

I calculé = 0,0000915 H

Point	H	I obs.	I calc.	I obs. - I calc.	I résiduel
1	57,1	0,0055	0,0052	+ 0,0003	
2	111,5	0,0103	0,0102	+ 1	
3	164,5	0,0149	0,0150	— 1	
4	223,7	0,0202	0,0202	0	
5	280,0	0,0259	0,0256	+ 3	0,001
6	376	0,0344	0,0344	0	0,0015
7	500	0,0449	0,0457	— 8	0,0025

Alliage 2. Composition : Fer 29,8 pour 100

Point	H	I	I résiduel
1	68,5	0,0159	0,0022
2	129,0	0,0298	0,0040
3	223,5	0,0497	0,007
4	305,8	0,0658	0,010
5	387,5	0,0801	

Alliage 3. Composition : Fer 33,9 pour 100

Point	K	I	I résiduel
1	57,4	0,0287	0,001
2	113,5	0,0579	0,002
3	166,5	0,0864	0,003
4	219,6	0,117	0,006
5	306,8	0,171	0,021
6	361,5	0,208	0,026
7	438,0	0,264	0,044
8	506,0	0,313	0,057

Alliage 4. Composition : Fer 37,3 pour 1 0

I calculé = 0,000466 H

Point	H	I obs.	I_R	I calc.	I obs. - I calc.
1	116,7	0,0552		0,0545	+ 1,3 p 100
2	173,8	0,0812	2 à 3 °/₀	0,0810	+ 0,2
3	216,5	0,102	de I	0,101	+ 1,0
4	255,2	0,119		0,119	0
5	310,0	0,143		0,144	— 0

Alliage 5. Composition : Fer 38,6 pour 100

Point	H	I	I résiduel
1	24,9	0,126	croissant avec I
2	56,7	0,279	et ne dépassant
3	83,3	0,409	pas 1,5 p 100
4	128,1	0,598	de I trop faible
5	159,3	0,726	pour être mesu-
6	207,7	0,907	ré exactement.
7	236,4	1,01	
8	291,8	1,20	
9	314,8	1,27	
10	372,7	1,44	
11	429,5	1,58	
12	533,2	1,87	
13	531,9	1,85	

Alliage 6. Composition : Fer 42,7 pour 100.

E calc. = 1,39 $I^{2,17}$

E représente l'énergie en C. G. S. dissipée dans un cycle entier.

Point	H	I	E obs.	E calc.	E obs. - E calc. pour 100
1	23,9	2,99	11,6	15,0	— 30
2	45,1	5,85	65,2	64,4	+ 1,2
3	69,7	8,69	152	152	0
4	96,9	11,66	294	287	+ 2,4
5	111,9	13,0	367	356	+ 1,9
6	163,0	17,5	684	692	+ 1,2
7	214,1	21,5	1084	1084	0
8	322,7	27,6			

Alliage 7. Composition : Fer 45,2 pour 100

E calc. = 2,10 $I^{1,93}$

Point	H	I	E obs.	E calc.	E obs. - E calc. pour 100
1	23,9	4,1			
2	57,0	10,7	220	234	— 6,4
3	85,6	15,8	506	506	0
4	129,5	22,6	1054	1043	+ 1,3
5	185,7	30,4	1850	1875	— 1,3
6	269,5	39,4	3120	3130	— 0,3
7	305,7	43,2	3790	3770	+ 0,5
8	365,6	49,1	4870	4870	0
9	511,0	61,3	8150	7590	+ 6,7

Alliage 8. Composition : Fer 51,2 pour 100

E calc. = 1,95 $I^{1,78}$

Point	H	I	E obs.	E calc.	E obs.-E calc. pour 100
1	23,7	7,8	36	84	
2	57,2	19.1264		372	— 41
3	76,5	25,1	466	605	— 30
4	151	45,1	1730	1730	0
5	215,5	58,7	2780	2750	+ 1,1
6	311,8	76,6	4400	4410	+ 0,5
7	504,2	105,7	7780	7820	+ 0,5

Alliage 9. Composition : Fer 54,4 pour 100

E calc. = 1,06 $I^{1,78}$

Point	H	I	E obs.	E calc.	E obs.-E calc.
1	23,1	19,1	154	202	— 31
2	55,6	39,3	684	791	— 16
3	95,5	58,6	1455	1480	— 1,7
4	153,9	79,6	2615	2550	+ 2,5
5	237,2	103,6	4025	4090	— 1,6
6	309,5	119,7	5330	5250	+ 1,5
7	390	139,0	6700	6890	— 2,8
8	518	162,5	9260	9150	+ 1,2

Alliage 10. Composition : Fer 56,8 pour 100

E calc. = 1,15 $I^{1,70}$

Point	H	I	E obs.	E calc.	E obs.-E calc.
1	22,2	23,6	184	248	— 35
2	53,2	48,1	750	828	— 10
3	105,0	76,6	1840	1830	+ 0,6
4	153,2	96,2	2670	2690	— 0,8
5	215,7	117,6	3760	3810	— 1,3
6	296,8	142,0	5260	5200	+ 1,1
7	383,5	163,3	6700	6620	+ 1,2
8	490,3	189,5	8570	8560	+ 0,1

La figure 7, représente les courbes lieu des sommets des cycles des dix alliages pour des champs allant de 0 à 500 C. G. S. environ.

Entre l'alliage 5 et l'alliage 6, l'accroissement des propriétés magnétiques est tellement rapide qu'il a été nécessaire, pour représenter les courbes, de réduire l'échelle des ordonnées dans le rapport de 200 à 1 pour les alliages de 6 à 10. Les courbes d'aimantation de ces derniers alliages sont tracées dans le haut de la figure 26 ; on y a ajouté la courbe de l'alliage 5 déjà représentée dans le bas de la figure, comme terme de comparaison.

Les susceptibilités à l'origine des courbes sont :

Nos de l'alliage	Fer pour 100	k
1	26,0	0,00009
2	29,8	0,00023
3	33,9	0,00050
4	37,3	0,00047
5	38,6	0,0051
6	42,7	0,125
7	45,2	0,167
8	51,2	0,330
9	54,4	0,82
10	56,8	1,06

L'alliage 4 préparé avec de l'antimoine impur se place en dehors de la série.

Comparons à ces nombres la susceptibilité de la solution de perchlorure de fer de densité 1,487 qui est égale à $4,88 \times 10^{-5}$ d'après Borgmann (¹) et la susceptibilité à l'origine du fer qui est 6,4 d'après Lord Rayleigh (²) et nous constatons que les alliages occupent en effet la plus grande partie de la lacune entre les corps très magnétiques et peu magnétiques.

On détermine facilement, en représentant graphiquement la susceptibilité en fonction de la composition centésimale, le point précis correspondant à l'accroissement brusque des propriétés magnétiques. Il est atteint pour un alliage contenant 3 °/₀ de fer.

Les courbes des sommets des cycles des alliages 5, 6, 7, 8, 9, 10 sont toutes fortement concaves du côte de l'axe des abscisses, sans toutefois que la courbure observée soit assez marquée pour annoncer nettement la saturation dans les champs les plus forts. La question de la saturation reste donc ouverte pour ces alliages.

La forme des courbes des cinq premiers alliages ainsi que la grandeur moyenne de leur aimantation résiduelle en °/₀ de l'aimantation totale est donnée dans le tableau suivant :

No	Courbe d'aimantation	Aimantation résiduelle
1	rectiligne	5 pour 100
2	concave vers l'axe des abscisses	11 »
3	rectiligne » »	17 »
4	convexe vers l'axe des abscisses	2 à 3 »
5	concave »	1,5 »

(¹) BORGMANN, *Wied. Beiblätter* 3, p. 812, 1870.
(²) Lord RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, mars 1887.

L'alliage 5 présente cette particularité d'être à peu près complètement dépourvu d'aimantation résiduelle, elle ne dépasse pas 1,5 °/o l'aimantation totale. C'est, je crois, le premier corps sans aimantation résiduelle sensible pour lequel on ait observé avec précision une fonction magnétisante curviligne. Nous conclurons de cet exemple que l'aimantation résiduelle et la courbure de la courbe d'équilibre sont deux phénomènes indépendants.

L'interprétation la plus naturelle de ces résultats semble être la suivante : Les courbes d'équilibre de ces alliages sont concaves du côté de l'axe de ces abscisses comme celles des 5 alliages les plus magnétiques et des métaux fortement magnétiques, cette concavité pouvant être assez faible pour que la courbe paraisse rectiligne dans le voisinage de l'origine.

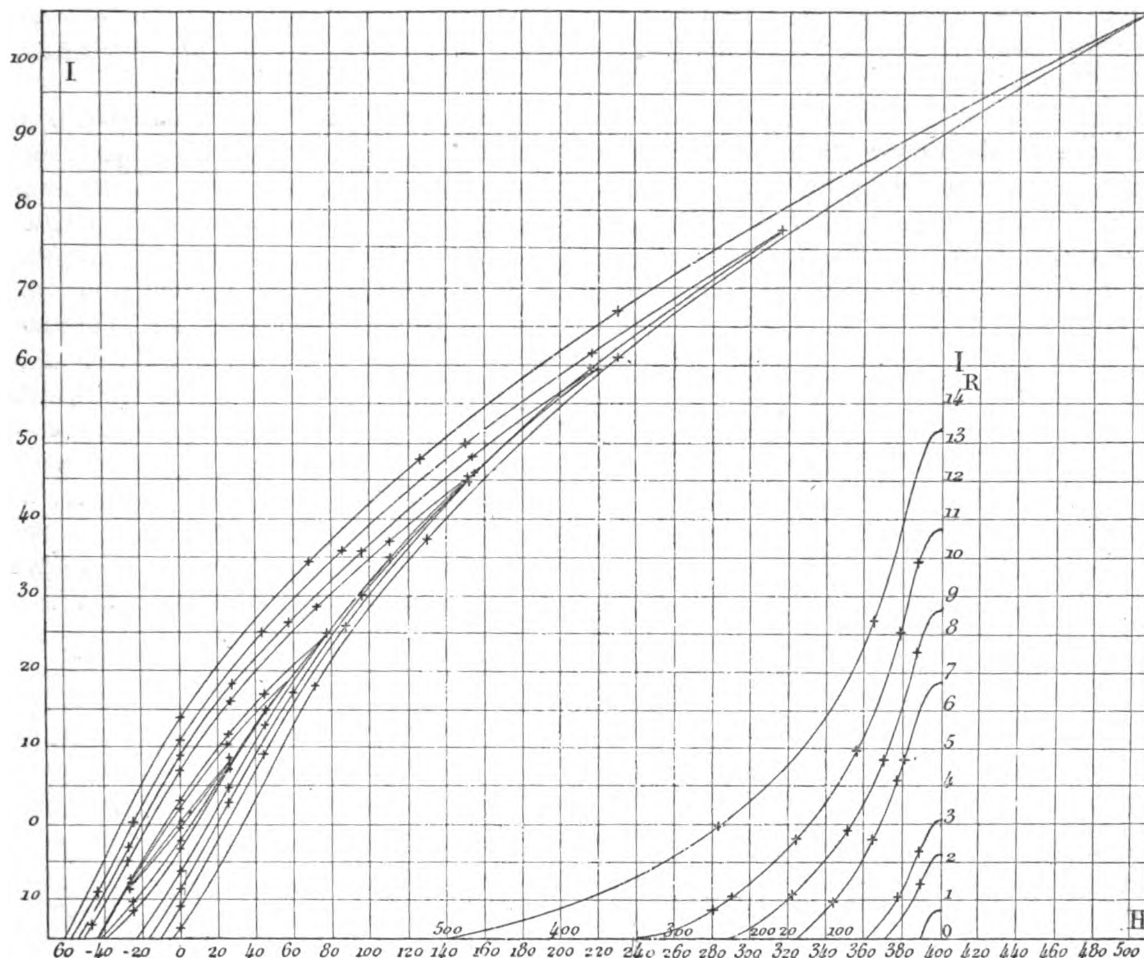


Fig. 7. — Cycles d'aimantation de l'alliage de fer et d'antimoine N° 8. 51,2 pour 100 de fer.
Fig. 8. — Mesure des aires.

Mais elle peut être masquée, comme pour le fer, par l'aimantation résiduelle qui tend à produire une courbure inverse. C'est ce qui arrive pour l'alliage 3, qui a la plus forte aimantation résiduelle. Pour tous les alliages qui présentent de l'aimantation résiduelle nous ne savons combien la courbe observée s'écarte de la courbe d'équilibre ; par conséquent nous ne pouvons conclure de 1, qu'une courbe d'équilibre rectiligne est compatible avec les phénomènes résiduels.

Cycles d'aimantation. — Jusqu'à l'alliage 5 il était nécessaire de surveiller d'une manière trop constante la compensation de l'induction des bobines pour pouvoir mesurer les variations cycliques de l'aimantation. A partir de 6, j'ai déterminé une série de cycles pour chaque alliage.

Ces courbes se ressemblent toutes. Leur forme générale (fig. 28) est assez analogue à celle des courbes de la fonte ou de l'acier non trempé. La principale différence d'un alliage à l'autre consiste dans des valeurs plus ou moins grandes de l'aimantation résiduelle et, par conséquent, dans un écartement plus ou moins grand des branches ascendante et descendante d'un même cycle. Le tableau suivant donne des valeurs moyennes de l'aimantation résiduelle en °/₀ de l'aimantation totale :

N°	Aimantation résiduelle pour 100
6	14
7	19
8	16
9	15
10	14

Que conclure maintenant sur la nature des corps étudiés? Il est très probable d'abord qu'ils ne se comportent pas comme des corps définis physiquement, mais comme des mélanges des deux composants et de combinaisons de fer et d'antimoine.

On doit admettre ensuite que, dans les premiers alliages au moins, le fer n'est pas à l'état libre car la même quantité de fer distribuée même de la manière la plus défavorable à l'aimantation, en lames perpendiculaires au champ, formerait des matières bien plus magnétiques. On pourrait alors se demander si la faible susceptibilité observée ne tiendrait pas à la production accidentelle et purement locale de quelques paillettes de fer ou d'alliage plus magnétique. Mais cette hypothèse est en contradiction avec la marche régulièrement croissante de la susceptibilité des premiers alliages. Les trois premiers ont été préparés deux fois et ont présenté des propriétés à peu près constantes.

J'ai cherché à séparer les éléments de ces alliages, finement pulvérisés, par un triage magnétique sous le microscope, mais je n'y ai pas réussi. Si l'on chauffe la poussière de certains d'entre eux avec du mercure, non seulement l'antimoine, mais encore une partie du fer s'amalgame. Or on sait que le fer ne s'amalgame pas directement. Ces faits montrent bien que le fer est, dans certains cas au moins, à l'état de combinaison.

Remarquons que la formule $Sb^2 Fe^4$ correspond à 38,2 °/₀ de fer, valeur qui coïncide exactement avec le point d'accroissement rapide des propriétés magnetiques qui a été trouvé à 38 °/₀ ; nous sommes donc conduits à l'hypothèse suivante : Quand on ajoute des quantités croissantes de fer à l'antimoine il se forme d'abord $Sb^2 Fe^4$ ou des alliages moins riches en fer, peu magnétiques, mélangés à de l'antimoine en excès jusqu'à ce que toute la masse réponde à cette composition. Si la proportion du fer augmente encore, il se produira des alliages plus riches en fer et plus magnétiques, ou du fer restera libre et ces corps pourront être mélangés à une certaine quantité de $Sb^2 Fe^4$.

(A suivre). Pierre Weiss.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHIMIE APPLIQUÉE

IIe Séance

La seconde séance de la section X (Electrochimie) tenue à l'Hôtel de la Société d'Encouragement, le vendredi 31 juillet, a été presque exclusivement consacrée à l'électrolyse du chlorure de sodium et à l'acétylène.

L'ordre du jour annonçait une communication de M. *Montpellier* sur l'industrie de la soude et du chlore, mais elle n'a pu avoir lieu, l'auteur ayant dû s'absenter de Paris.

Dans une communication intitulée

Résultats pratiques obtenus dans l'électrolyse des chlorures

M. *Hulin* expose le résultat de ses recherches sur le même sujet.

Jusqu'ici on avait pratiqué l'électrolyse du sel marin sous forme de dissolution dans l'eau ; l'électrolyse du sel fondu par la chaleur n'était pas adoptée parce qu'elle présente de graves difficultés d'ordre pratique ; cependant, elle est préférable, car elle permet d'éviter l'électrolyse secondaire du dissolvant et qu'elle permet d'employer des appareils d'un volume beaucoup plus petit que celui des appareils employés dans la première méthode en raison de leur plus haute production spécifique.

Convaincu de la supériorité de la première méthode, M. Hulin a cherché à la mettre en pratique. Ses expériences remontent à 1890 ; elles ont eu pour point de départ une expérience peu connue : si on électrolyse de la cryolite fondue, on obtient, au début, de l'aluminium métallique. Mais si l'on emploie du plomb comme cathode, on obtient un alliage de plomb et de sodium. M. Hulin pensa donc que, si on électrolysait un bain de chlorure de sodium fondu, en prenant comme cathode une masse de plomb, on obtiendrait un alliage de plomb et de sodium, tandis que le chlore se dégagerait. En traitant ensuite l'alliage par l'eau, on obtiendrait une lessive de soude. L'expérience confirma ses déductions. Son premier appareil se composait d'un creuset en fonte, garni à l'intérieur d'une enveloppe isolante afin de limiter la réaction aux électrodes. La cathode était en plomb, l'anode en charbon, l'électrolyse était du chlorure de sodium fondu.

Les difficultés qu'il eut à vaincre furent nombreuses :

1° Un des premiers phénomènes observés fut la formation d'une gaîne lumineuse analogue à celle qu'on observe dans les expériences de Planté ou de Hoho et Lagrange. Dès que cette gaîne se forme, le courant s'arrête; le voltage ordinaire est de 7 volts; après la formation de la gaîne, le voltmètre marque successivement 10, 15 volts et ne tarde pas à monter jusqu'au maximum possible avec le générateur, qui, dans les expériences ci-dessus était de 50 volts ; en même temps, le courant diminue d'intensité et finit par s'arrêter complètement.

2° Au début, l'absorption du sodium par le plomb s'accomplit régulièrement, mais au bout de peu de temps, il se forme un alliage léger qui monte à la surface du bain.

3° Une partie de ce dégagement globulaire de sodium est dissous dans le bain et se recombine avec le chlore, ce qui diminue le rendement et provoque un échauffement nuisible.

4° Les anodes en charbon sont corrodées, le sodium dissolvant le carbone.

5° Il est très difficile de trouver une bonne garniture isolante ; l'alliage finit par pénétrer dans les garnitures et celles-ci deviennent conductrices ; il se produit alors un dégagement globulaire de sodium considérable.

On conçoit que, dans ces conditions, le rendement obtenu soit très mauvais.

Toutes ces perturbations sont dues au dégagement de sodium ; celui-ci, en effet, se combinant avec le chlore forme un sous-chlorure qui est l'obstacle. Pour en empêcher la formation, M. Hulin pensa à mettre dans le bain du chlorure de plomb qui permettrait d'absorber le sodium qui se dégage. Mais il fallait pour obtenir de bons résultats, alimenter continuellement le bain de chlorure de plomb.

Dans ce but, il imagina le dispositif suivant : des anodes en plomb sont disposées dans des récipients latéraux et reliées avec l'anode principale en charbon par des conducteurs de résistance calculée afin qu'une certaine partie seulement du courant passe par ces dérivations. Une partie du chlore se porte sur ces anodes secondaires et forme du chlorure de plomb qui se répand dans le bain en quantité déterminée et constante.

On obtient ainsi d'excellents résultats ; tous les inconvénients précédemment cités sont éliminés et on obtient un alliage de plomb et de sodium dans des conditions de rendement très avantageuses. La densité du courant atteint de 6 000 à 10 000 ampères par

m^2, c'est à dire environ 22 fois plus que dans l'électrolyse des solutions aqueuses.

L'alliage le plus convenable est celui qui contient de 23 à 25 pour 100 de sodium dans le plomb. Sa densité est de 3,2.

Lorsqu'il est mis en présence de l'eau, il la décompose avec effervescence ; il se forme une lessive de soude d'autant plus concentrée que la proportion d'eau est moins grande, et il reste du plomb spongieux. Pour obtenir de la soude très concentrée, on peut employer de la vapeur d'eau, mais les résultats obtenus sont peu satisfaisants ; M. Hulin préfère, dans ce cas, pratiquer des lessivages par solutions de plus en plus concentrées.

Lorsqu'on fait oxyder cet alliage à l'air on obtient directement du peroxyde de plomb.

M. Hulin a cherché à appliquer l'alliage de plomb et de sodium qu'il a obtenu à la fabrication des électrodes d'accumulateurs. Pour cela, on remplit les cadres d'alliage et on les traite par l'eau. Le plomb spongieux qui reste se trouve dans un état moléculaire très convenable. Pour modérer l'activité de la réaction qui est très violente avec l'eau pure et qui pourrait donner de mauvais résultats, on immerge les plaques dans une solution de nitrate de soude qui atténue le dégagement gazeux.

On peut employer aussi, au lieu de plomb, de l'étain, du zinc, etc.

M. Hulin s'est préoccupé aussi de l'électrolyse des solutions aqueuses de chlorure de sodium. Pour éviter les réactions secondaires qui se produisent dans le bain, il a songé à filtrer mécaniquement le sodium sur une cathode en charbon poreux aussitôt sa formation. Son appareil se compose donc en principe, d'une cuve qui est séparée en deux compartiments par une cloison en charbon poreux qui forme la cathode. Dans un des compartiments est placée la solution à électrolyser, au milieu de laquelle plonge l'anode. Le second récipient sert à recevoir le sodium qui traverse la cloison. Avec un courant de 4 ampères par décimètre carré et une tension de 4,3 volts on obtient des résultats très satisfaisants. Le produit obtenu varie suivant les conditions de l'expérience. Avec un rendement de 92 pour 100 on obtient de 12 à 15 pour 100 de sel non décomposé. Avec un rendement de 78 à 80 pour 100, on n'a que 2 à 3 pour 100 de sel non décomposé, qu'il est facile d'éliminer.

M. *Minet* fait remarquer que l'effet de Planté remarqué par M. Hulin dans l'électrolyse du chlorure de sodium s'observe aussi dans l'électrolyse du fluorure d'aluminium, et que pour empêcher sa formation, il faut maintenir une composition convenable du bain.

M. *Hulin* répond que ses propres expériences confirment complètement le résultat annoncé par M. Minet, et que le procédé qu'il emploie, à savoir des anodes solubles en plomb, ne revient pas à autre chose qu'à obtenir une composition convenable du bain et à maintenir ses proportions constantes.

M. *Peyrusson* lit ensuite un mémoire

Sur un électrolyseur

de son invention.

Cet appareil, dont l'invention est toute récente, est caractérisé par la forme hélicoïdale des électrodes ; l'électrode intérieure est formée d'une hélice à lames larges et rapprochées, enroulées autour d'une tige centrale, de telle sorte que l'électrolyte qui arrive à la partie supérieure par un robinet est obligé de parcourir toutes les spires de cette hélice en subissant progressivement l'action du courant électrique. Cette électrode, munie d'une prise de courant, est disposée à l'intérieur d'un vase poreux qui doit avoir juste le même diamètre et qui peut communiquer à sa partie inférieure avec un robinet pour la sortie de l'électrolyte.

L'électrode extérieure est aussi constituée par une hélice ayant un vide central dans lequel s'ajuste le vase poreux.

Les spires de cette hélice sont reliées par des tiges extérieures ; elles peuvent être composées de rondelles ayant chacune une spire d'hélice à l'intérieur et réliées entre elles de

façon à affecter la forme d'un appareil à colonne. L'appareil présenté est de cette dernière forme ; la partie inférieure est munie aussi d'un robinet pour l'écoulement du liquide.

Cette forme hélicoïdale des électrodes permet de donner à l'électrolyte un mouvement continu et de lui faire parcourir un trajet considérable dans l'appareil où il est soumis à l'action du courant. Avec un appareil de 0,45 m de hauteur, ce parcours est de 12 m. De plus, l'électrolyte est soumis à l'action du courant sous forme de tranches minces emprisonnées entre les lames de l'hélice et se trouve, par conséquent, dans les meilleures conditions pour en subir l'action d'une façon rationnelle et progressive. Ce résultat est encore favorisé par le mouvement du liquide et par le fait que chaque partie de l'électrolyte soumise au courant pendant le parcours de l'hélice est isolée et évacuée aussitôt l'effet désiré obtenu · il suffit pour cela de régler l'écoulement d'une façon rationnelle au moyen des robinets d'arrivée et de sortie. Enfin le mouvement du liquide évite la polarisation et la forme des électrodes qui leur assure une très grande surface permet de diminuer la résistance d'un appareil de dimensions données.

Le vase poreux peut être fermé de façon qu'on puisse y faire une aspiration de 15 à 20 mm de mercure, et qui empêche l'osmose électrique lorsque l'électrode intérieure joue le rôle d'anode, et permet d'obtenir facilement séparés des produits gazeux qui peuvent se dégager.

L'électrolyte se trouve tout naturellement à l'abri de l'air.

On peut n'employer qu'une seule électrode en forme d'hélice, l'autre ayant une forme quelconque ; le liquide peut être en mouvement dans les deux électrodes ou dans une seule ; enfin, le liquide dans chaque électrode peut être d'une nature différente.

M. Peyrusson explique les différentes formes qu'on peut donner à cet appareil suivant l'usage auquel il est destiné. Ainsi, pour l'électrolyse du chlorure de sodium, l'électrode extérieure est formée de rondelles en fonte, simplement coulées, qui s'emboîtent et se superposent à la hauteur qu'on désire ; elles constituent la cathode ; l'anode, à l'intérieur de la cloison poreuse est faite de lames d'argent platiné et iridié dont les intervalles sont garnis de coke bien lavé à l'acide. La cloison poreuse est fermée par une lame de verre latée et percée de trous pour laisser passer :

1° La prise de courant ;

2° Un tuyau de dégagement du chlore, tuyau par lequel on peut assi exercer une aspiration ;

3° Enfin, une ouverture par laquelle on peut introduire le sel ou une solution salée si cette électrode est aussi à écoulement. Dans ce dernier cas, ce doit être toujours le même liquide qui repasse continuellement à cette anode en se saturant de nouveau de sel, à l'extérieur, entre deux passages.

Lorsque les robinets d'arrivée et d'écoulement du liquide sont bien réglés, l'électrolyte s'écoule au fur et à mesure que l'action de l'électricité est suffisante, et le fonctionnement de l'appareil est continu : la concentration de la soude peut être poussée très loin, car l'électricité prolonge son action même lorsqu'une grande partie du sel est précipitée par la soude formée qui le rend beaucoup moins soluble.

La séparation des électrodes et l'action continue et progressive de l'électricité sur l'électrolyte qui traverse l'hélice extérieure, ainsi que l'appel qui résulte de l'aspiration exercée sur l'anode centrale, empêchent tout mélange des ions et des cathions, si bien que la soude recueillie à la cathode par le robinet inférieur, est pure d'hypochlorite.

On obtient ainsi une solution de soude caustique dont le sel marin finit par se séparer pendant la concentration ; tandis que le chlore qui se dégage à l'anode peut être employé à l'usage que l'on désire, fabrication d'hypochlorite, etc.

Si l'on veut obtenir des produits plus purs, on peut séparer les électrodes par deux vases

poreux rentrant l'un dans l'autre et dans l'intervalle desquels on fait circuler le même liquide qu'à la cathode ; les ions et les cathions qui traversent les cloisons poreuses et altèrent la pureté des solutions se mélangent dans cet intervalle et sont éliminés aussitôt.

M. Peyrusson explique aussi sommairement l'application de son appareil à la désinfection des eaux de vannes, des eaux d'égoût, au blanchiement des pâtes à papier, au vieillissement des vins, à l'épuration des jus sucrés, etc.

La préparation du carbure de calcium

a occupé la seconde partie de la séance.

M. *Bullier* a retracé l'historique de la question ; il insiste surtout sur ce point que Willson n'avait pu, par les procédés décrits dans ses premiers brevets obteuir du carbure de calcium propre à la fabrication de l'acétylène ; ce n'est qu'après les études de M. Moissan, communiquées à l'Académie des Sciences en mars 1894, et qui firent l'objet d'un brevet délivré à M. Bullier un mois auparavant, que Willson prit ses brevets et « lança l'affaire » au point de vue industriel. Ses brevets pris à partir de la fin de 1894 sont complètement différents de ceux qu'il avait pris antérieurement. Cette question a du reste été traitée en détail par notre collaborateur A. Rigaut dans un de nos précédents numéros [1].

M. Bullier décrit ensuite sommairement les jours employés aux usines de Vallarbes, et déclare que la quantité de carbure de calcium qu'on peut obtenir, en pratique, par cheval et par jour, ne dépasse pas 3 à 4 kg. Ce carbure donne un minimum de 300 litres d'acétylène par kilogramme.

La question des prix de revient est traitée plus en détail par M. *D. Korda*.

Il commence par analyser les expériences faites en Suisse, sur les chemins de fer de Berne. Ces expériences ont permis de vérifier que, pour des flammes de 20 à 30 bougies, la consommation d'acétylène est de 0,7 litre par bougie. Le carbure employé était du carbure de Neuhausen, qui est de très mauvaise qualité, ne donnant que 250 litres de gaz par kg de carbure. Son prix est de 500 fr. la tonne. Le prix du mètre cube d'acétylène ressort donc à 2 fr ; un mètre cube d'acétylène donne le même éclairage que 5 m³ de gaz d'huile comprimée. On pourait, paraît-il, obtenir à Neuhausen, le carbure de calcium à 300 fr. la tonne.

L'avenir des applications de l'acétylène dépendant du prix du carbure de calcium, M. Korda étudie cette question en détail, il commence par réfuter les prix fantaisistes donnés par Willson au début, puis analyse les chiffres du rapport de l'usine Spray [1], Il fait ensuite lui-même l'évaluation du prix de revient en supposant une usine de 2 000 chevaux pouvant, par conséquent, produire 8 tonnes de carbure par jour, pendant 300 jours par an ; il suppose le prix du cheval à 75 fr., ce qui est un chiffre assez faible. D'un autre côté la main d'œuvre, les réparations, l'emballage sont comptés plutôt largement ; on arrive aux prix suivants, par jour :

5 tonnes de coke	62,50
7 tonnes de chaux	112
Force motrice $2\,000 \times \frac{75}{300}$	500
Electrodes	80
Main d'œuvre (127 000 fr par an)	425
Réparations (120 000 fr. par an)	400
Emballage (42 000 fr par an)	260
Frais généraux (100 000 fr par an)	260
	1 979,50

Soit une moyenne de 250 fr par tonne, sans compter ni l'amortissement, ni l'intérêt, ni le transport, pour du carbure de bonne qualité, pouvant donner au minimum 300 litres de gaz par kg.

Etant données ces conditions, M. Korda envisage la possibilité de fabriquer le carbure de calcium comme sous-produit d'une autre industrie, ce qui permettrait d'obtenir le carbure de calcium à zéro franc, zéro centime, résultat très tentant et qui permettrait de

[1] *L'Éclairage Électrique*, juin 1895.

[1] *L'Éclairage Électrique* du 23 mai 1896, p. 339.

donner un développement considérable et rapide à la nouvelle industrie.

M. *Moissan* explique en quelques mots qu'il ne croit pas possible d'obtenir le carbure de calcium comme sous-produit d'une autre industrie, dans les conditions proposées jusqu'ici. En effet, lorsque le mélange traité dans le four électrique contient un excès de carbone, on n'obtient pas le carbure de calcium désiré ; pour obtenir ce corps, il faut que le mélange soit fait en proportions bien définies et traité dans des conditions également définies. Tout ce qu'on pourrait donc obtenir serait de diminuer les frais généraux d'une usine en les faisant supporter par plusieurs industries similaires groupées convenablement.

Nous reviendrons du reste bientôt sur la question de l'acétylène.

G. PELLISSIER.

III° SÉANCE

La troisième séance de la Section d'Electrochimie, du lundi 3 août, est consacrée à diverses communications sur l'acétylène. Plusieurs articles ayant déjà été publiés dans ce journal sur cette question et M. Pellissier ayant, dans un mémoire étendu dont la publication commence dans ce numéro, passe en revue tout ce qui a été fait ou proposé à propos de la préparation du carbure de calcium, de celle du gaz acétylène et de son utilisation, nous en profiterons pour donner un compte rendu très bref de cette séance.

M. *de Brévans*, après quelques généralités sur la préparation de l'acétylène au moyen du carbure de calcium, décrit les expériences qu'il a faites pour étudier les impuretés que contient ce gaz. L'auteur faisait passer le gaz dans une série de flacons laveurs contenant une dissolution concentrée de sulfate de cuivre. Au bout de quatre jours, il obtenait dans les flacons un dépôt dont la couleur et les propriétés variaient suivant le flacon où il s'était formé. Le dépôt du premier flacon, d'une couleur brun clair, se dissolvait dans l'acide chlorhydrique et donnait lieu à des explosions lorsque, pour le détacher du flacon, on le frottait avec une baguette de verre Celui du second, plus foncé, était également soluble dans l'acide chlorhydrique mais était beaucoup moins explosif. Celui du troisième était noir, non explosif, insoluble dans l'acide chlorhydrique, soluble dans l'eau régale et cette dissolution traitée par le molybdate d'ammoniaque, permettait de reconnaître la présence du phosphore Suivant M. de Brevans, les dépôts des premiers flacons seraient principalement formés d'acétylure de cuivre, celui du troisième de phosphure de cuivre ; il se propose d'ailleurs de faire bientôt l'analyse quantitative de ces dépôts, analyse qui présente d'ailleurs beaucoup de difficultés. Toutefois il croit pouvoir conclure dès maintenant à la présence de l'hydrogène phosphoré et de l'hydrogène silicié dans le gaz commercial.

Il fait observer que, contrairement à l'opinion répandue, l'acétylure de cuivre peut faire explosion, même lorsqu'il est humide et il croit qu'il est de toute nécessité de n'employer dans les applications à l'éclairage que l'acétyléne purifié, ou ce qui lui semble plus pratique, de préparer ce gaz au moyen de carbure pur obtenu lui-même au moyen de carbonate de calcium et de charbon aussi purs que possible.

Passant aux dangers et inconvénients que présente l'emploi de l'acétylène, il cite les expériences de Lewes sur l'explosibilité de ce gaz, les résultats qu'il a lui même obtenus dans l'étude de son action sur les métaux et alliages usuels (d'après cette étude, le cuivre et le laiton sont attaqués par l'acétylène, même lorsqu'il est sec), et enfin les résultats des expériences de M. Gréhant et de M. A. Brociner sur sa toxicité ; il en conclut que ces dangers et inconvénients ne sont pas plus grands que ceux que présente le gaz d'éclairage et qu'ils ne peuvent dès lors être un obstacle à l'extension des applications de l'acétylène.

L'auteur termine par une description rapide des divers appareils servant à la préparation de l'acétylène et par une description détaillée de l'appareil Deroy.

M. *Bullier* dit n'avoir jamais trouvé d'hydrogène silicié dans le gaz acétylène préparé par l'action de l'eau sur le carbure de calcium au commerce ; il n'en a trouvé que quand l'attaque avait lieu par l'acide chlorhydrique. Il pense que la silice contenue dans les matières primaires passe à l'état de siliciure de fer et de manganèse non décomposables par l'eau.

En second lieu, il fait remarquer que d'après M. Berthelot, l'acétylène donne avec une dissolution de sulfate de cuivre un dépôt de charbon et qui est peut-être un dépôt de cette nature que M. de Brevans a obtenu dans les flacons.

A ces objections, celui-ci répond que, s'il n'a pu constater directement la présence de l'hydrogène silicié dans le gaz acétylène, il a pu constater celle de la silice dans les dépôts ; d'autre part il peut affirmer que la production de charbon aux dépens de l'acétylène, n'avait pas lieu dans les conditions où il opérait, car en mettant un nombre suffisant de flacons les uns à la suite des autres, les dernières solutions de sulfate de cuivre traversées par de l'acétylène purifié par son passage dans les précédentes, restaient absolument limpides.

La communication précédente amène M. *Giraud* à donner les

Résultats d'analyses de l'acétylène

qu'il a faites sur du gaz parépare à la façon ordinaire avec la plus petite quantité d'eau possible. Quatre essais lui ont donné, par mètre cube d'acétylène, les chiffres suivants pour les poids en grammes des impuretés ;

	1	2	3	4
PH^3	0,825	1,715	1,072	0,447
A^zH^3	0,425	0,481	0,06	2,79
H^2S	0	0	0	1,342

La faible proportion d'ammoniaque trouvée dans le troisième essai doit être attribuée à ce que le gaz avait été lavé avant l'analyse.

L'auteur fait remarquer que dans les trois premiers essais il n'a pas trouvé d'hydrogène sulfuré dans le gaz bien que le carbure de calcium servant à sa préparation contint du sulfure de calcium. Il attribue la forte proportion de ce gaz trouvée dans le dernier essai à la présence du sulfure d'aluminium.

Outre les gaz précédents l'acétylène commercial contient une petite quantité d'oxyde de carbone et d'azote. Pour en déterminer la proportion il absorbait par le brome l'acétylène et les impuretés dont il vient d'être question ; il a trouvé

Gaz absorbables par le brome	99,49	95,90	98,451	98,304
Az	0,43	2,91	1.027	1,125
Co	8,08	1,19	1,486	0,572
	100,00	100,00	100,00	100,00

La dernière communication est celle de M. *Hubau* sur

L'auteur, après quelques considérations générales qu'il résume rapidement, s'attache surtout à démontrer que même au prix de 400 fr la tonne de carbure de calcium, l'éclairage des wagons à l'acétylène peut lutter avantageusement avec les autres modes d'éclairage. Il résulte, en effet, des expériences qu'il a faites au chemin de fer de l'Est, qu'un bec brûlant 12 litres d'acétylène à l'heure donne un éclairage quatre fois plus considérable que le gaz d'huile avec une dépense de 1,8 centime, prix auquel revient l'éclairage d'un compartiment avec ce dernier gaz ; la lampe à huile employée par diverses compagnies, ne revient qu'à 1,2 centime l'heure, mais on sait combien l'éclairage obtenu est défectueux ; la lampe à gazoline de la compagnie des chemins de fer d'Orléans coûte 1,6 centime, mais comme il y en a deux par compartiment, la dépense est de 3,2 centimes ; enfin la lampe électrique de 10 bougies employée sur les wagons du Nord coûte 2,8 centimes.

Aussi l'auteur est-il persuadé que l'appli-

cation de l'acétylène à l'éclairage des wagons ne peut que se développer et que s'il y a pour l'instant un arrêt dans les essais, cet arrêt n'est que momentané et est motivé par la nécessité d'étudier les appareils de production et les brûleurs avant de se lancer dans une application en grand.

Les diverses autres communications annoncées pour cette séance et celle du mercredi 5 août, ne pouvant être faites, M. Moissan, président de la section, annonce que cette dernière n'aura pas lieu.

Dans sa Communication à la Section de Photographie :

La photographie du spectre infra-rouge, et Etude des rayons de Roentgen,

M. *Nodon* expose les propriétés générales de la matière, les diverses transformations de l'énergie, insiste sur l'énergie vibratoire, rappelle les phénomènes (réflexion, réfraction, polarisation, etc.) auxquels peuvent donner naissance les ondes vibratoires et passe en revue les diverses manifestations de l'énergie vibratoire lorsque le nombre de vibrations par unité de temps croît d'une façon continue : tant ce nombre est inférieur à 30 par seconde, l'énergie n'est perceptible qu'au sens du toucher ; pour des nombres de vibrations allant de 30 à 48000, c'est l'oreille qui perçoit l'énergie ; pour des vitesses de vibrations plus grandes, l'énergie n'est plus perçue par nos sens jusqu'à ce qu'on arrive aux oscillations électriques de Hertz et de Righi ; au delà de ces oscillations électriques s'étend une région inconnue puis les radiations du spectre calorifique, celles du spectre lumineux, celles du spectre ultra-violet ; après ces radiations ultra-violettes, M. Nodon place les radiations émises par les corps phosphorescents comme la blende hexagonale et le sulfure de zinc et qui ont été récemment étudiées par M. Becquerel, M. C. Henry, etc. ; à la suite se trouveraient les rayons X dont il existe diverses espèces.

Dans cette revue des diverses manifestations de l'énergie vibratoire, M. Nodon expose les propriétés principales de chacune d'elles et montre que ces propriétés se modifient d'une manière continue à mesure que l'on passe des vibrations les plus lentes aux vibrations les plus rapides. A propos des radiations ultra-violettes, M. Nodon donne une explication de l'origine de l'électricité atmosphérique fondée sur la propriété qu'ont ces radiations de décharger les corps électrisés, et la propriété que possèdent les rayons solaires de charger positivement les conducteurs qu'ils rencontrent ainsi que l'auteur l'a reconnu par des expériences faites en 1886, au Laboratoire des Recherches Physiques de la Sorbonne, et continuées au Laboratoire du Collège de France. Cette explication consiste à admettre que sous l'influence des radiations violettes et ultra-violettes émises par le soleil, une partie de la charge positive considérable qui doit exister d'une manière permanente à la surface de l'atmosphère terrestre se trouve amenée dans les couches profondes de cette atmosphère ; si des nuages viennent à se former dans ces couches par suite de la condensation de la vapeur d'eau, cette charge se fixe aux nuages, d'où production d'orages ; ainsi s'expliquerait la plus grande fréquence des orages pendant les jours d'été et dans les régions tropicales.

La seconde partie de la communication est consacrée aux rayons de Roentgen. L'auteur en étudie les moyens de production et considère comme probable la possibilité de les produire par d'autres moyens que ceux dont nous disposons actuellement. Peut-être, dit-il, ces rayons existent-ils parmi les radiations émises par les sources calorifiques à température très élevée, comme le soleil et les astres et si nous ne pouvons les observer, c'est qu'ils sont arrêtés, ainsi que des radiations de longueurs d'onde beaucoup plus grandes par l'atmosphère terrestre. En tout cas, s'ils existent réellement dans les radiations solaires, ils doivent produire à la surface de notre atmosphère et même à la surface même de nos satellites des phénomènes particuliers tels que

l'ionisation des matières gazeuses et solides et, par suite, une destruction lente et continue de ce satellite par une sorte de volatilisation apparente.

M. Nodon expose ensuite les propriétés des rayons X et insiste sur la radiographie.

J. Blondin.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Les supports métalliques usuels des lignes électriques aériennes ; composition et détermination de leurs dimensions, par Emile Piérard (¹).

Le développement des communications téléphoniques a conduit à délaisser les poteaux de bois et à recourir aux matériaux métalliques pour supporter les grandes artères comprenant souvent plusieurs centaines de conducteurs. Mais ces matériaux doivent être employés judicieusement, si l'on ne veut pas arriver à des constructions massives, disgrâcieuses et dont la résistance serait hors de proportion avec le but à atteindre. Ce sont les règles que l'on doit suivre dans le calcul des poteaux métalliques pour éviter ces inconvénients que l'auteur expose dans son mémoire.

Ce calcul s'effectue en se fondant sur les hypothèses suivantes : Tous les fils sont rompus dans une des deux portées adjacentes ; le poteau est encastré à sa base ; la température est celle minima qui peut se produire dans la contrée.

En supposant que le poteau supporte n fils tendus à t kilogrammes avant la rupture et que le point d'application de la résultante de ces tensions est à une hauteur h au dessus du sol, le moment de renversement agissant d'un côté du poteau est $M_1 = nth$, Si les portées sont égales et comprennent le même nombre de conducteurs les moments de renversement de chaque côté du poteau sont égaux et ce poteau est uniquement soumis aux forces de la pesanteur qui sont en général négligeable. Dans le cas où tous les conducteurs de l'une des portées se rompraient, le poteau serait tout d'abord soumis au moment de renversement M_1, mais si l'on calculait ses dimensions en introduisant dans les formules de la flexion la valeur à ce moment on arriverait à des dimensions exagérées, car, dès que le poteau fléchit, la portée des fils non rompue se raccourcit et la tension diminue considérablement, ainsi que l'auteur le montre par un exemple. De plus les portées voisines de la portée rompue se trouvent modifiées et les flèches des fils décroissent successivement pour ne reprendre leur valeur primitive qu'à une distance infinie de la portée rompue, si l'on veut utiliser économiquement la matière, il faut tenir compte de ces circonstances dans le calcul et le problème devient compliqué.

Ce problème se présente sous deux aspects :

1° Etant donnée une ligne existante, déterminer ce que seront les tensions et, par suite, les flèches des diverses portées, lorsqu'une de celles-ci vient à se rompre ;

2° Calculer les poteaux d'une ligne de telle manière que si une portée se rompt, la plus grande flèche que prendront les fils dans les portées adjacentes ne dépasse pas une certaine limite.

Dans un article publié dans la *Lumière Électrique* du 23 juillet 1894, p. 557, M. Colard a résolu ce difficile problème d'une manière très élégante par l'emploi des fonctions hyperboliques. Mais les deux formules auxquelles il est parvenu pour la tension et la flèche dans la n^e portée sont malheureusement un peu compliquées pour la pratique.

Dans le cas particulier où il s'agit d'un poteau de dispersion ou d'un poteau placé entre des appuis rigides comme des chevalets ou des tourelles, cas très fréquent en téléphonie,

(¹) Extrait du *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore* ; 1896. Brochure de 16 pages ; librairie de l'Office Central, Bruxelles ; prix 1 fr. 50.

le problème se simplifie et peut être résolu facilement par une méthode dont le principe a été indiqué par M. Vautier et que l'auteur développe ainsi qu'il suit :

Lorsque les fils se rompent, le poteau fléchit d'une quantité g et la tension diminue jusqu'au moment où il y a équilibre entre la traction des fils et la résistance du poteau agissant comme un ressort, s'il est bien encastré.

Pour déterminer cette condition d'équilibre, désignons par T' la tension des fils après la rupture et par f' la flèche correspondant à cette tension. La tension d'un fil tendu librement entre deux appuis placés au même niveau et situés à une distance a, exprimée en mètres, étant donnée par la formule

$$t = \frac{p a^2}{8 f},$$

p étant le poids en kilogramme du fil par mètre courant, nous aurons pour n fils et pour une distance horizontale réduite à $a - g$,

$$T' = \frac{n p (a - g)^2}{8 f'}. \qquad (1)$$

S'il est fait usage d'un poteau de section constante qu'on peut considérer comme un ressort sollicité à sa partie supérieure par une force T' agissant horizontalement, on a

$$g = \frac{T' h^3}{3 E I} = \frac{T' h^3}{12 E (i' + s d^2)}, \qquad (2)$$

h étant la hauteur du poteau, E le coefficient d'élasticité des matériaux employés, i' le moment d'inertie d'une des cornières montant par rapport à un axe parallèle à une des arêtes et passant par son centre de gravité; s la surface de la section droite de cette cornière, d la distance de son centre de gravité à l'axe neutre de flexion du poteau. En appelant d' la distance entre le centre de gravité de la section d'un montant et une des arêtes extérieures et v la distance des arêtes extérieures parallèles à l'axe de flexion du poteau à ce même axe, on a d'ailleurs l'égalité

$$d = v - d'.$$

Une troisième équation se déduit du fait que les fils conservent sensiblement la même longueur :

$$a + \frac{8 f^2}{3 a} = a - g + \frac{8 f'^2}{3 (a - g)},$$

d'où

$$g = \frac{a}{2} - \frac{4 f^2}{3 a} - \sqrt{\frac{16 f^4}{9 a^2} + \frac{4 f^2}{3} + \frac{a^2}{4} - \frac{8}{3} f'^2}. \quad (3)$$

On a donc trois équations entre les quatre inconnues T', f', g et d. On se donnera la flèche f' que l'on prendra aussi grande que possible. L'équation (3) permettra dès lors de déterminer g ; (1) fournira la valeur de T' et (2) celle de d au moyen de laquelle, en vertu de la formule $d = v - d'$ indiquée plus haut, on trouvera la largeur du poteau dans le sens des portées.

On vérifiera au moyen de la formule générale de la flexion.

$$\frac{R I}{v} = h t \qquad \text{ou} \qquad \frac{4 R (i' + s d^2)}{v} = h t,$$

que la tension R par unité de surface des fibres les plus fatiguées n'est pas trop grande.

A la suite de cet exposé l'auteur donne une application numérique des formules précédentes, puis il fait remarquer que la formule (2) qui suppose les faces du poteau parallèles entre elles n'est pas rigoureusement applicable en pratique les poteaux ayant par raison d'esthétique une section légèrement décroissante avec la hauteur. Il conviendra, alors, de mettre à contribution les procédés graphiques. On tracera la courbe dérivée seconde de l'élastique par points au moyen de la formule connue

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{E I}{M},$$

en donnant à M et à I les valeurs calculées pour tous les points considérés. Une première intégration obtenue en planimétrant la surface délimitée par cette courbe, l'axe des x et de ses deux ordonnées extrêmes donnera la courbe dérivée première, et une seconde intégration fournira celle de l'élastique, de laquelle on déduira directement la flèche du poteau en fonction de la force T' qui lui est appliquée. En faisant varier l'écartement

des cornières choisies, on arrivera à obtenir la flèche voulue.

Le Mémoire se termine par quelques considérations d'ordre pratique relatives à la pose des chevalets métalliques sur toits dont l'arête est perpendiculaire ou parallèle aux nappes de conducteurs à supporter.

E. N.

Sur l'emploi des batteries d'accumulateurs sur les circuits à charge variable, par J. E. Woodbrigde (1).

L'emploi des accumulateurs serait particulièrement avantageux dans les stations centrales de tramways où les génératrices ne sont utilisées à pleine charge que pendant un temps relativement court. Malheureusement les difficultés que l'on rencontre dans l'accouplement en parallèle des batteries et des dynamos, lorsque la charge du circuit est très variable, ont jusqu'ici restreint cet emploi. Si les dynamos sont compoundées de manière à maintenir le voltage constant à ses bornes, la batterie fournit la même intensité de courant, quelle que soit la charge, et si les dynamos sont hypercompoundées, comme c'est généralement le cas, de manière à donner un voltage croissant avec la charge, la batterie tend à se décharger quand la charge extérieure est faible et à se charger quand cette charge est grande ; en d'autres termes, la batterie tend à fonctionner précisément en sens inverse du fonctionnement normal, c'est à dire charge de la batterie par la dynamo quand la charge du circuit extérieur est faible et décharge de cette batterie dans le circuit extérieur quand la charge de celui-ci est grande.

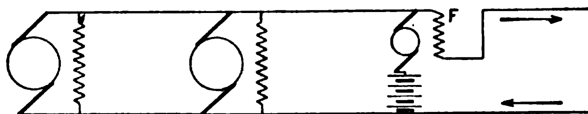


Fig. 1.

On sait qu'on remédie à cet inconvénient dans les stations centrales pour l'éclairage en prenant un nombre variable d'éléments de la batterie au moyen d'un commutateur à contact glissant. Mais l'emploi du commutateur présente lui-même des inconvénients ; si le contact glissant est assez large pour reposer en même temps sur deux touches, les éléments compris entre ces touches se trouvent mis en court-circuit, et cette manœuvre souvent répétée ne tarde pas à les détériorer ; si au contraire le contact glissant est de faible largeur, le circuit de la batterie se trouve ouvert et fermé à chaque déplacement du contact, ce qui entraîne une usure rapide des contacts lorsqu'on opère avec des courants de plusieurs centaines d'ampères.

D'après l'auteur, on obtiendrait en pratique de bien meilleurs résultats par le procédé suivant. A la batterie, dont le nombre d'éléments est choisi de manière que le voltage soit un peu plus petit que celui des dynamos lorsque la charge du circuit extérieur est faible, on adjoint une dynamo auxiliaire à bas voltage ayant son armature reliée en série à la batterie. On règle l'excitation de cette dynamo auxiliaire, de manière que si la charge de la ligne est faible, le voltage de l'ensemble reste au-dessous de celui des dynamos principales qui chargent alors la batterie, tandis que si la dépense d'énergie sur le circuit extérieur augmente, le voltage de l'ensemble s'accroisse et que la batterie vienne alors en aide aux dynamos principales.

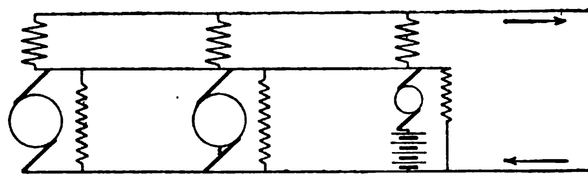


Fig. 2.

Les figures 1 à 3 représentent trois modes différents d'application de ce procédé. Dans le premier, la dynamo auxiliaire est excitée en série, de sorte que sa force électromotrice augmente quand la charge du circuit extérieur augmente ; en schuntant le circuit excitateur, on règle la valeur de cette force électromotrice. Dans le second, la dynamo auxiliaire est compound comme les dynamos

(1) *The Electrical World,*

principales. Enfin dans le troisième, la dynamo auxiliaire est encore compound, mais tandis que l'enroulement en série tend à produire dans la dynamo une force électromotrice de même sens que celle de la batterie, l'enroulement en dérivation tend à produire une force électromotrice inverse ; quand la charge est élevée, l'enroulement en série a un effet prépondérant et la batterie vient en aide aux dynamos principales ; quand la charge est faible, l'enroulement en dérivation renverse la force électromotrice de la dynamo auxiliaire qui aide alors les dynamos principales à charger la batterie.

Il faut, en général, que l'énergie électrique fournie à la batterie pendant 24 heures soit égale à celle qui lui est prise pendant le même temps. Avec les dispositions 1 et 2, on peut

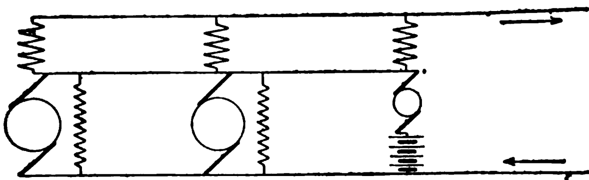


Fig. 3.

réaliser cette condition en enlevant ou ajoutant, en temps opportun, un certain nombre d'éléments à la batterie à l'aide d'un commutateur manœuvré à la main. Mais on retrouve alors les inconvénients signalés plus haut. Au contraire, la disposition 3 permet de laisser continuellement dans le circuit le même nombre d'éléments et de faire tout simplement varier le champ d'excitation en modifiant l'enroulement dérivé ; on augmente le champ quand la batterie tend à se décharger entièrement ; on le diminue dans le cas contraire.

Bien entendu la dynamo auxiliaire, qui fonctionne tantôt comme générateur, tantôt comme moteur, ne peut être actionnée par un moteur à vapeur indépendant ; le mieux est de la coupler directement à un moteur électrique shunt.

J R.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur quelques expériences nouvelles relatives à la préparation du diamant, par Henri Moissan. (1)

« Nous avons indiqué, dans les recherches précédentes (2), qu'en refroidissant brusquement la fonte en fusion on pouvait obtenir le carbone sous forme de diamant.

» Dans une nouvelle série d'expériences, nous avons cherché à diminuer le volume de fer en fusion et à le refroidir beaucoup plus rapidement.

» L'expérience idéale à réaliser consisterait à amener la fonte liquide sous forme d'une sphère, et à exercer ensuite sur elle une pression très grande. Un tel résultat peut être atteint sur un petit volume de matière, en laissant tomber d'une certaine hauteur la fonte liquide saturée de carbone au moyen du four électrique et en la refroidissant brusquement dans un bain de mercure.

» Nous avons disposé un four électrique en pierres de Courson analogue à ceux que nous employons journellement, mais dont le fond portait une ouverture cylindrique de 6 cm de diamètre. Les électrodes qui amenaient le courant avaient 5cm de diamètre ; celle du pôle positif était creuse ; elle portait suivant son axe, un canal cylindrique de 18mm de diamètre, dans lequel pouvait se mouvoir avec facilité une tige de fer que l'on avançait ou que l'on reculait à volonté.

» Ce four était disposé sur deux tréteaux et en dessous se trouvait une marmite de fer contenant du mercure sur une épaisseur de 10cm surmonté d'une couche d'eau deux fois plus épaisse. On commençait par faire jaillir

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 206 ; séance du 27 juillet 1896.

(2) Moissan, *Comptes rendus*, t. CXVI, p. 288 (6 février 1893) et t. CXVIII, p. 320 (1894). — *La Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 317 ; 18 février 1893.

l'arc et l'on employait un courant de 1000 ampères et 60 volts. Lorsque le régime normal du four était établi, et que la chaux commençait à distiller, ce qui demandait deux à trois minutes au plus, on avançait lentement la tige de fer; le métal approchait de l'arc, fondait, se carburait avec rapidité, puis la fonte en fusion tombait sous forme de sphères très régulières. Ces sphères incandescentes traversaient la couche d'eau et, en vertu de leur vitesse acquise, tombaient jusqu'au fond du mercure où elles étaient refroidies par conductibilité.

» Une fois l'expérience en marche, elle se réglait avec la plus grande facilité, et il était possible, en quelques instants, de grenailler plusieurs kilogrammes de fonte de fer.

» Lorsque l'on retirait cette masse de grenailles qui nageait entre l'eau et le mercure, on y rencontrait un certain nombre de sphères ou d'ellipsoïdes aplatis, de forme régulière et d'une homogénéité parfaite. Ils mesuraient 0,01 m au plus de diamètre, parfois 4 mm à 5 mm seulement; ils étaient mis de côté pour être attaqués par des acides, en suivant la méthode indiquée précédemment.

» Les autres grenailles, de forme irrégulière, qui avaient roché, ou qui renfermaient des géodes plus ou moins grandes, permettant de les écraser facilement sous le marteau, n'étaient point traitées par les acides. Nous nous étions assuré dès les premières expériences, qu'elles ne renfermaient point de carbones de grande densité, et que, soumises au traitement habituel, elles ne laissaient aucun résidu sous le microscope.

» Toute cette fonte était suffisamment saturée de charbon, car elle renfermait du graphite que l'on pouvait voir dans les géodes des grenailles de mauvaise qualité.

» Les sphérules de forme régulière nous ont fourni du diamant noir et du diamant transparent. Ce dernier corps était en cristaux très petits, ce qui n'a pas lieu de nous surprendre. Mais quelques-uns de ces cristaux présentaient une régularité remarquable; nous citerons, par exemple, un octaèdre, mesurant 0,016 mm dans sa plus grande longueur, qui tombait dans l'iodure de méthylène et qui, brûlé sur la nacelle de platine, a disparu en donnant de l'acide carbonique caractérisé par l'eau de baryte. Ces petits cristaux rayaient le rubis et possédaient l'éclat et l'aspect du diamant.

» Grâce à l'obligeance de M. Guichard, ingénieur de la société Edison, nous avons pu réaliser la même expérience sous une autre forme.

» Le four électrique dont nous venons de parler a été disposé au-dessus d'un puits de 32 m au fond duquel se trouvait un seau de fer contenant l'eau et le mercure. Aussitôt que le four eut atteint sa température normale, nous avons fait avancer la barre de fer dans l'axe de l'électrode positive en ayant soin de produire la fusion d'une assez grande quantité de métal pour que la grenaille formée fût d'un diamètre un peu plus grand. On voyait alors des sphères de fonte en fusion atteignant de 0,02 m à 0,03 m de diamètre qui tombaient verticalement en donnant de loin en loin une rare étincelle et qui disparaissaient sans bruit dans l'eau placée au fond du puits.

» Au point de vue de la production du diamant, cette expérience a été mauvaise, car notre épaisseur de mercure était insuffisante pour une telle vitesse de chute et le métal fondu s'éparpillait en fragments de forme quelconque.

» Mais deux choses sont à retenir dans cette expérience.

» Lorsque l'une de ces sphères venait à toucher le bord du baquet au centre duquel était placé le seau métallique, ou qu'elle rencontrait le sol, elle produisait une flamme, se brisait en globules étincelants, en faisant entendre un bruit analogue à celui d'un coup de fusil. Cette sphère de métal paraissait saturée de gaz et éclatait comme un bolide.

» Le deuxième fait qui nous a frappé est le suivant :

» Au moment où la boule de métal quitte le four électrique, elle est d'un éclat éblouis-

sant, mais, dans sa chute rapide, elle n'a pas parcouru un espace de 0,50 m que déjà la vive lumière qu'elle projette a bien diminué. Une chambre pratiquée au fond du puits nous a permis de voir nettement les sphères au moment où elles arrivaient au contact de l'eau et, d'après leur couleur, nous pouvons dire que la température avait déjà considérablement changé.

» *Expériences faites dans des blocs métalliques.* — Cette dernière étude nous a conduit à remplacer la limaille de fer par un bloc métallique. Un cylindre de fer, de 0,18 m de longueur et de 0,14 m de largeur, a été préparé au tour. On a forcé ensuite, dans son axe, une ouverture cylindrique de 3 cm de diamètre et d'une profondeur de 0 ,12 m, dans laquelle pouvait glisser, à frottement doux, un cylindre du même métal.

» Cet appareil a été disposé dans un baquet rempli d'eau froide. On a fondu alors, au four électrique, 400 gr. de fer qui s'est saturé de carbone. Ce liquide a été coulé dans le bloc métallique que l'on a fermé rapidement au moyen du cylindre de fer.

» Dans ces expériences, le refroidissement est très brusque. On enlève, au tour, tout le métal qui constitue le bloc et la masse de fonte que l'on trouve à l'intérieur est soumise aux traitements décrits plus haut.

» Cet essai nous a donné de meilleurs résultats ; le rendement, sans être très élevé, était supérieur à celui du métal grenaillé. Le diamant était accompagné d'un graphite en cristaux trapus d'une densité de 2,35. Quelques parcelles de diamant étaient bien cristallisées et d'une transparence parfaite, tandis que d'autres renfermaient des crapauds.

» Pour augmenter encore la vitesse de refroidissement, nous avons répété la même expérience dans un bloc de cuivre, de mêmes dimensions. Le rendement en poids n'est pas plus élevé, seulement les diamants sont bien transparents et certains contiennent des crapauds. Ils ne sont pas accompagnés de fragments denses transparents et non combustibles.

Expérience faite au moyen de la gaine de feu. — Le phénomène de la gaine de feu a été découvert par MM. Fizeau et Foucault [1] ; il fut étudié ensuite par M. Planté, puis par MM. Violle et Chassagny [2] et enfin MM. Hoho et Lagrange [3] ont cherché à l'appliquer dans l'industrie.

» Ce phénomène, qui se produit lorsque l'on fait passer un courant trop intense dans un liquide conducteur, permet de porter le métal d'une électrode à son point de fusion.

» Nous avons réalisé cette expérience sur un tube de fonte renfermant en son axe un cylindre de charbon, et nous avons recueilli des gouttes de métal liquide au sein de la solution de carbonate de soude qui servait d'électrolyte.

» Les grenailles ainsi obtenues ont toujours été de forme irrégulière et incomplètement saturées de carbone ; elles ne nous ont pas donné de bons résultats.

» *Combustion des diamants de synthèse.* — Une nouvelle combustion a été faite de diamants préparés en partie au moyen de petits cylindres remplis de charbon de sucre (procédé décrit précédemment), en partie au moyen des blocs métalliques de fer et de cuivre. Ces derniers tombaient dans l'iodure de méthylène, rayaient le rubis avec facilité et ne contenaient pas de diamants noirs.

» Le poids des diamants était de 5,7 gr ; ils ont brûlé en laissant une trace de cendre dont le poids n'était pas appréciable à la balance.

» On a recueilli 20,5 mm d'acide carbonique. La théorie pour 5,7 mgr exigerait 20,9 mm.

» Cette matière répond donc bien à la propriété fondamentale du carbone de donner,

---

[1] FIZEAU et FOUCAULT, *Recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy* (*Ann. de Ch. et de Phys.* (3e série), t. II, p. 383 ; 1844.)

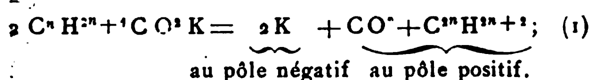
[2] VIOLLE et CHASSAGNY, *Société de Physique* ; 1889.

[3] HOHO et LAGRANGE, *Comptes rendus*, 13 mars 1893 ; *L'Éclairage Electrique* t. III, p. 165 et 360 ; 27 avril et 25 mai 1895.

pour 1 gr de substance, 3,666 gr d'acide carbonique. »

Sur l'électrolyse des acides gras, par J. Hamonet (1)

« Les recherches que j'ai commencées sur l'électrolyse des acides gras bibasiques m'ont amené à reprendre l'étude des décompositions que fait subir l'électricité aux acides gras monobasiques eux-mêmes. J'ai pu ainsi me convaincre que les conclusions énoncées par Kolbe sur ce sujet, et répétées après lui par la plupart des auteurs, sont loin d'être générales, et surtout qu'elles laissent de côté une bonne partie du phénomène. En effet, ces auteurs supposent que la réaction principale provoquée par le courant électrique est représentée par la formule générale

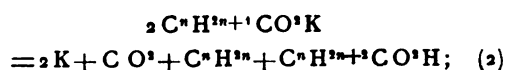


$$2\,C^nH^{2n+1}CO^2K = \underbrace{2K}_{\text{au pôle négatif}} + \underbrace{CO^2 + C^{2n}H^{4n+2}}_{\text{au pôle positif}}; \quad (1)$$

que, s'il se forme un peu d'hydrocarbure non saturé et d'éther correspondant à $C^n H^{2n+1} CO^2 C^n H^{2n+1}$, ces produits sont en faible quantité et comme dus à des réactions secondaires.

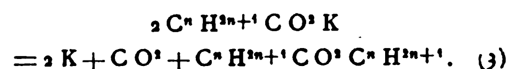
» Or l'expérience m'a démontré : 1° que, dans plusieurs cas, il ne se fait *pas ou presque pas* d'hydrocarbure saturé ; 2° que l'hydrocarbure non saturé C^nH^{2n} tient parfois le premier rang dans la décomposition de l'acide $C^n H^{2n+1}CO^2H$ [Bunge (*Journal de la Société russe de Physique et de Chimie*, t. I, p. 525-527 ; 1889) l'avait déjà remarqué par les acides propionique, butyrique et isobutyrique] ; 3° enfin, qu'il se forme toujours de l'alcool à n carbones, si l'acide en contient $n+1$; que la proportion de cet alcool peut atteindre ou dépasser le tiers du produit total fourni par l'électrolyse, et que la constitution de cet alcool n'est pas toujours celle qu'on pourrait supposer. Si les auteurs n'ont pas, jusqu'ici, attiré suffisamment l'attention sur ce dernier point, c'est qu'ils ne se sont préoccupés que de portion éthérée qui surnage le liquide électrolysé, sans rechercher l'alcool que ce liquide retient quelquefois dissous en proportion assez considérable. J'ai bien cherché, en faisant varier les conditions de l'électrolyse, à obtenir exclusivement l'un ou l'autre produit, mais je n'ai pu jusqu'ici y réussir.

» On peut donc traduire la décomposition que subit le sel de potassium soit par l'équation précédente (1), quand il se forme de l'hydrocarbure saturé ; soit par l'équation (2), s'il se produit un hydrocarbure non saturé



$$2\,C^nH^{2n+1}CO^2K = 2K + CO^2 + C^nH^{2n} + C^nH^{2n+1}CO^2H; \quad (2)$$

le liquide du vase intérieur (pôle positif). devient, en effet, toujours acide, si l'alcalinité du liquide primitif n'était pas excessive ; soit par l'équation (3) si de l'éther prend naissance



$$2\,C^nH^{2n+1}CO^2K = 2K + CO^2 + C^nH^{2n+1}CO^2C^nH^{2n+1}. \quad (3)$$

» L'alcool proviendrait de la saponification de cet éther ou de l'hydratation du produit saturé.

» Il se forme, en outre, des corps plus condensés, à point d'ébullition élevé, mais en quantité trop faible pour qu'il m'ait été possible d'en déterminer la nature.

» Je ne vois pas qu'il soit nécessaire d'alléguer l'action oxydante du courant électrique pour expliquer ces diverses transformations. Les résidus des molécules désagrégées (ions, si l'on veut) peuvent se souder entre eux pour former les corps que je viens d'indiquer.

» L'appareil dont je me sers se compose : 1° d'un vase cylindrique de cuivre rouge de 23 cm de haut et 8 cm de diamètre servant de cathode ; 2° d'un vase poreux cylindrique de composition spéciale que m'a fourni M. Maillé ; ce vase présente le grand avantage d'être quatre fois moins résistant que les vases poreux ordinaires. Dans ce vase tantôt un fil de platine de 1 mm de section, de 2 m de long, tantôt un cylindre de platine de 14 cm de haut et de 2,5 cm de diamètre sert d'anode positive.

» A l'exemple de Brown et Walker, j'espérais, en faisant varier la surface de l'anode,

(1) *Comptes rendus*, t. CXIII, séance du 27 juillet 1896.

favoriser ou empêcher la soudure des radicaux hydrocarbonés. Jusqu'ici les résultats n'ont pas été conformes à mon attente.

» Le vase poreux est fermé par un bouchon percé de trois trous dans lesquels sont fixés le fil conducteur du courant, un thermomètre et le tube de dégagement des gaz. Le liquide soumis à l'électrolyse remplit presque complètement le vase extérieur et le vase intérieur. Sa densité peut varier de 1,08 à 1,12; quand la densité est plus grande il se forme une mousse fort incommode. Un courant d'eau circule autour du vase de cuivre pour empêcher une trop grande élévation de température. Le courant électrique employé est de 4 à 5 ampères et de 6 à 8 volts. Les gaz sortant du vase poreux sont conduits dans une solution de potasse, puis dans des barboteurs à brome suivis de flacons à potasse et d'un gazomètre faisant fonction d'aspirateur.

» Après deux ou trois heures de marche, j'arrête l'électrolyse; je sépare, par décantation, l'éther qui surnage du liquide du vase intérieur; je neutralise la portion inférieure et je la fais bouillir pendant quelques instants pour enlever l'alcool qui s'y trouve dissous; puis je ramène la solution totale à son état primitif par addition d'une quantité d'acide égale à celle qui a été décomposée.

» *Electrolyse au butyrate de potassium.* — Une solution de butyrate de potassium (densité = 1,09) a été électrolysée pendant vingt-deux heures, avec les précautions indiquées plus haut. Le courant était de 5 ampères et de 6 vols. J'ai obtenu 225 gr de propane bibromé en 1.2, bouillant à 141°-142° (une petite quantité s'est bromée par substitution pendant l'opération qui a duré plusieurs jours), 18 gr d'acool *isopropylique* ou propanol 2, bouillant, après dessiccation sur la baryte anhydre, à 82°-83° (je l'ai caractérisé par son iodure et son éther benzoïque), 4,5 gr de butyrate d'*isopropyle* bouillant à 128°-129°, 4 gr à 5 gr de produits plus condensés qui se résinifient quand on les traite par la soude pour les séparer par saponification de l'éther mélangé. S'il s'est formé de l'hexane, cela n'a certainement pas été en quantité appréciable. Je n'ai pu également isoler d'alcool propylique primaire.

» La formation dans ce cas d'acool isopropylique et de l'éther butyrique correspondant est assez remarquable et ne se peut expliquer que par hydratation du propène, ou par migration d'un des hydrogènes fixés sur le groupe CH^3 en α,

» *Électrolyse de l'isobutyrate de potassium.* — Une solution d'isobutyrate de potassium de densité = 1,10 a été soumise à l'électrolyse, avec le fil de platine pour anode, dans les mêmes conditions et pendant le même temps que le butyrate de potassium, dont il vient d'être parlé. On a obtenu environ 300 gr de propane bibromé en 1.2, ce qui correspond à 62 gr de propène, 20 gr d'alcool isopropylique bouillant entre 83°-84°, plus 12 gr d'isobutyrate d'isopropyle bouillant à 121°-123°, et 6 gr d'un produit plus condensé bouillant de 130° à 160°, à odeur poivrée. Pas plus que dans le cas précédent, je n'ai pu isoler d'hexane. Les produits principaux de la décomposition du butyrate et de l'isobutyrate : hydrocarbure saturé et alcool secondaire, sont donc parfaitement identiques.

» Dans les deux cas, les gaz recueillis avaient à peu près la même composition et contenaient en majeure partie du propène et de l'acide carbonique. »

Une nouvelle méthode de mesure des forces électromotrices des piles, par D. Negreanu.

On intercale dans le même circuit un élément étalon, dont la force électromotrice est e et la résistance intérieure ρ, une résistance r, prise sur une boîte de résistances, un galvanomètre (shunté si le courant est trop fort) de résistance g, un second élément de force électromotrice e' et de résistance intérieure ρ', placé en opposition au premier, et enfin la résistance r' prise sur une seconde boîte de résistances.

On peut établir à volonté une communication métallique des points a et b du circuit. En c on place un interrupteur.

Pour faire une mesure on règle les résistances r et r', de façon que la déviation du cadre mobile du galvanomètre soit la même, les points a et b du circuit étant en communication ou non ; dans ce cas, l'intensité i' du courant qui traverse $a\,b$ est nulle.

Les lois de Kirchhoff permettent d'écrire :

$$I = i' + i''$$
$$e = I\,(\rho + r) + i''\,r''$$
$$e' = i'\,(g + \rho' + r') - i''\,r''$$

(r'' étant la résistance du fil $a\,b$).

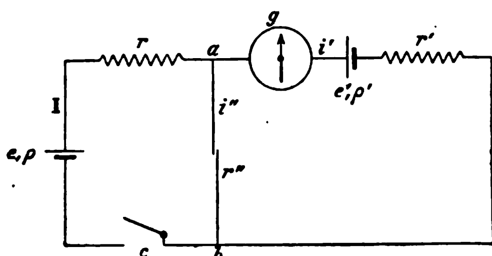


Fig. 1.

Comme $i'' = 0$, ces relations deviennent

$$I = i'$$
$$e = I\,(\rho + r)$$
$$e' = I\,(g + \rho' + r').$$

D'où :

$$\frac{e'}{e} = \frac{g + \rho' + r'}{\rho + r}. \qquad (1)$$

On voit que l'on peut mesurer la force électromotrice e' d'un élément par rapport à la force électromotrice d'un élément étalon e, si l'on connaît les résistances ρ et ρ' de ces deux éléments et la résistance g du galvanomètre.

On peut se dispenser de connaître ces résistances, ajoutant à r une résistance r'_1, et cherchant quelle résistance r'_1 faut-il ajouter à r', de manière que la déviation du cadre mobile du galvanomètre soit la même, les points a et b étant en communication métallique ou non.

On a une relation analogue à (1) :

$$\frac{e'}{e} = \frac{g + \rho' + r' + r_1'}{\rho + r + r_1}. \qquad (2)$$

De la comparaison de (1) et (2), on en déduit :

$$\frac{e'}{e} = \frac{r_1'}{r_1}, \qquad (3)$$

où ne figurent les résistances des éléments et du galvanomètre.

BIBLIOGRAPHIE

Guide-Annuaire général des Industries Gaz, Eaux, Électricité, édité par le journal *Revue Gaz et Électricité*, un vol. in-8 de 641 pages. Paris, 1896. — 44, rue de Maubeuge.

Cet annuaire en est à sa seconde année d'existence. La confection d'un almanach d'adresse de ce genre est peu commode par suite de longues recherches qu'elle nécessite. Les auteurs ont donné le nom de tous les membres des Sociétés savantes ou industrielles se rapportant aux industries connexes du gaz, des eaux et de l'électricité, ainsi que les adresses des différents fabricants ou commerçants.

Le classement adopté est celui des industries spéciales ; il demanderait à être complété par une nomenclature des noms par ordre alphabétique Les adresses données se rapportent exclusivement à la France.

L'ouvrage est complété par une partie très intéressante comprenant la liste par ordre alphabétique par département des villes de France, d'Algérie, de Tunisie, de Belgique, d'Alsace-Lorraine, d'Egypte, d'Espagne, d'Italie, de Suisse éclairées au gaz, ainsi que des villes de France et de ses colonies éclairées à l'électricité.

La liste des brevets d'invention et certificats d'addition pris en France en 1894 et 1895 complète les renseignements utiles contenus dans ce volume, ainsi que la liste des publications périodiques françaises et étrangères relatives au gaz et à l'électricité.

Il existe à l'étranger des annuaires de ce genre très complets. Nous n'en avions pas en France ; celui que nous signalons rendra donc certainement de réels services, en dépit de quelques imperfections auxquelles il sera remédié les années suivantes.

G. PELLISSIER.

Ouvrage reçu

Théorie thermodynamique de la viscosité, du frottement et des faux équilibres chimiques, par P. Duhem. Un vol. in-8 de 210 pages Libiairie *A. Hermann*, 8, rue de la Sorbonne.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Albany (Amérique). — Station centrale. — Les dommages causés au matériel électrique de la station centrale de la Compagnie des tramways d'Albany, par la rupture d'un volant, sont aujourd'hui complètement réparés. La dynamo qui fut mise hors d'usage par l'accident a été remplacée par une nouvelle d'une puissance de 800 kilowatts. Cette dernière est du type Westinghouse multipolaire, l'armature seule de cette machine pèse 43 688 kg ; le collecteur a 1,80 m de diamètre et 0,38 m de large ; le courant est recueilli par 10 balais disposés à distances égales à la périphérie du collecteur ; ces balais sont divisés en deux groupes de 5 actionnés séparément par un volant à main, placé de chaque côté de la machine et qui commande un pignon d'engrenage auquel sont réunies les tiges articulées de chacun des cinq porte-balais. Le courant recueilli a une intensité de 1 500 ampères à la tension de 550 volts ; à charge nulle, la tension est encore de 500 volts. Cette dynamo de proportions gigantesques est actionnée par un moteur à vapeur Allis dont on a remplacé le volant à jantes, qui a été brisé, par un autre volant en fer lamellaire fournissant, à l'aide d'une courroie de 1,20 m de large et une vitesse angulaire de 92 tours par minute, une puissance de 650 chevaux sur l'axe de la dynamo. Les réparations terminées, les 60 voitures motrices qui desservent le réseau de la ville d'Albany ont pu reprendre leur service. Ces voitures présentent la particularité d'être toutes munies de paliers à rouleaux.

Ce système, mis en essai au début de l'installation a donné des résultats si concluants que la Compagnie des tramways l'a adopté d'une façon générale sur ses voitures.

Montbovon (Suisse). — Station centrale. — L'établissement d'une usine électrique à Montbovon vient d'être décidé ; la construction et l'installation doivent commencer sous peu.

Le but de cette création est de fournir l'énergie électrique à la ville de Romont et à la vallée de la Broye. Romont a déjà modifié son contrat avec la nouvelle Société.

Cette heureuse initiative est due à MM. Genoud-Perraud et Dujour frères. La même usine sera aménagée en vue de fournir en outre la force motrice nécessaire à un chemin de fer électrique entre Bulle et Château d'Œx.

New-York. — Station centrale. — L'usine d'électricité installée dans les vastes sous-sols du bâtiment de Métropolitan Life Insurance Company et servant uniquement à l'éclairage intérieur de ce bâtiment, vient d'être dotée de nouveaux groupes générateurs qui sont deux dynamos de 100 kilowatts couplées directement à deux moteurs à vapeur Armington. L'équipement original se composait de deux dynamos du même type d'une puissance individuelle de 100 kilowatts à 110 volts. Toutes ces machines sont à enroulement compound, à six pôles et ont des balais en charbon. Le dispositif qui a été adopté dans le montage de ces dynamos permet aux induits de supporter sans s'échauffer, une surcharge de 40 pour 100 pendant 1 heure.

Le courant est réparti dans tous les locaux de l'établissement par l'intermédiaire des commutateurs d'un tableau de distribution. Le nombre de lampes actuellement raccordées est de 4 340, soit à arc, soit à incandescence.

Nevada-County (Californie). — Transport de force. — Parmi les nombreuses mines d'or que possède la Californie, on cite comme les plus importantes celles situées dans le district de Nevada-County. La plupart de ces mines, exploitées déjà depuis une trentaine d'années, sont aujourd'hui très profondes ; leurs nombreuses galeries, rayonnant en tous sens, ont une étendue souterraine très considérable, ce qui oblige naturellement les propriétaires à augmenter continuellement leur matériel d'exploitation et la force motrice nécessaire aux travaux d'extraction.

La force motrice la plus employée dans ce district est l'énergie hydraulique provenant des nombreux lacs, torrents et rivières que possède cette contrée. Cette énergie convenait très bien, quoique très coûteuse aux mines se trouvant peu élevées, mais pour celles situées en haut des montagnes dont le sommet est perpétuellement couvert de neige et de glace, il aurait été impossible

d'établir les canalisations dans lesquelles l'eau serait congelée avant d'atteindre les lieux d'utilisation. Il est vrai qu'il aurait été possible, dans certains cas, d'obvier à ces inconvénients en pratiquant une trouée dans le flanc de la montagne pour établir la canalisation ; seulement ce procédé, quoique radical, serait, pour la majeure partie des mines élevées, très onéreux si on considère que les montagnes de Californie sont constituées d'énormes blocs de granit desquels la poudre seule peut avoir raison. C'est pourquoi les propriétaires de ces mines ont, pour la plupart, conservé leurs moyens primitifs d'exploitation.

Depuis plusieurs années déjà, dès l'apparition de l'énergie électrique employée comme force motrice, un ingénieur, M. A. Tregidgo, entreprit d'étudier la réalisation d'une station centrale fournissant l'énergie électrique à la place de l'énergie hydraulique. Pour réaliser ce but, il chercha d'abord une solution pratique au problème qu'il s'était posé, puis ayant trouvé le projet réalisable il en fit part à plusieurs propriétaires de mines qui, bien que n'ayant encore peu de confiance dans l'énergie électrique, réunirent des fonds nécessaires à l'entreprise d'un barrage pour capter et utiliser les eaux de la South Yuba River. Les travaux, commencés en 1892, étaient menés rapidement ; la digue était aux trois quarts achevée, lorsqu'une crue subite provoquée par un orage l'entraîna entièrement. Cet accident ébranla notablement la confiance des capitalistes et l'entreprise fut abandonnée. Ce ne fut que vers l'été de 1895, lorsque la pénurie d'eau obligea les mines à rester inactives que de nouveaux capitaux furent rassemblés pour mener l'entreprise à bonne fin ; d'autre part, les applications de l'énergie électrique s'étaient considérablement accrues pendant ce laps de temps, M. Tregidgo fit de nouvelles études sur le projet et put enfin voir sa première idée réalisée.

Le nouveau barrage construit à la place de l'ancien est constitué par d'énormes blocs de granit dont la montagne abonde ; un jeu de vannes permet l'accès de l'eau dans la conduite des turbines, composée de tuyaux en fonte de 1,34 m de diamètre en haut de la chûte et 1 m au réservoir des turbines. La chûte verticale effective est de 61,80 m. La station hydraulique, située sur un plateau formé par le flanc de la montagne, comprend 2 roues Pelton de 500 chevaux chacune, couplées directement à 2 alternateurs Stanley-Kelly à courants biphasés, produisant individuellement 5 500 volts à 16 000 alternances, avec une vitesse angulaire de 500 tours par minute. Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos à courants continus de 6 kw, mues par deux autres roues Pelton, indépendantes des premières.

Les deux alternateurs sont couplés en parallèle ; le courant traverse les appareils du tableau de distribution à la tension initiale ; aussi, pour cette raison, on a adopté un modèle spécial de commutateur afin d'éviter les arcs aux ruptures de circuit ; les lames du commutateur pénètrent à force dans les fentes respectives pratiquées dans le pilot de contact, repoussant d'autres lames à ressort qui occupaient les fentes du pilot en circuit ouvert ; dès que l'on ouvre le commutateur, ces lames aidées par leurs ressorts viennent occuper la place de celles du commutateur à mesure que ces dernières se dégagent, de sorte que les fentes du pilot se trouvent refermées au même moment que le commutateur est ouvert, évitant ainsi l'arc de rupture. L'installation de l'usine est complète ; on a déjà établi 12 km de câbles pour la transmission de l'énergie dans différentes mines ; cependant dans ces dernières aucun préparatif n'a encore été fait pour l'utilisation, les propriétaires, toujours quelque peu incrédules ayant voulu, voir l'énergie produite avant de ne rien entreprendre ; maintenant qu'ils sont rassurés, cette question n'est plus qu'une affaire de temps et l'on prévoit que, sous peu, le rendement de la station sera totalement absorbé, ce qui contribuera énormément à la prospérité des mines d'abord en évitant un chômage onéreux, et à celle du pays ensuite en assurant une activité commerciale ininterrompue. Il est à présumer que, grâce à l'initiative donnée par M. Tregidgo dont la persévérance est digne du succès qu'il a obtenu, les autres districts miniers de Californie ne tarderont pas à suivre l'exemple de Nevada County et chercheront également à utiliser les forces que la nature met à leur portée, ouvrant ainsi au pays une nouvelle ère de prospérité.

Niagara. — Transport de force. — Parmi les nombreuses usines groupées aux environs des chutes du Niagara et qui empruntent à ces dernières l'énergie dont elles ont besoin, on cite les importantes papeteries de la Cliff Paper Company qui utilise l'eau des chutes sous forme d'énergie hydraulique, d'abord, en haut d'un des barrages naturels, pour un moulin à pulpe, puis,

en bas de la chute, dans une usine où s'achève la fabrication du papier.

Encouragés par les succès récemment obtenu des installations électriques transformant l'énergie hydraulique en une autre énergie dont la facilité et la variétés d'applications sont supérieures à tout autre, la Cliff Paper Compagnie a fait construire entre ses deux usines une station hydraulique, qui utilise la chute intermédiaire au moyen d'une turbine Leffel des 300 chx actionnant 2 générateurs fournissant chacun 150 chx en énergie électrique. Ces machines sont du type multipolaire à courant continu et peuvent fonctionner ensemble où séparément. Le courant traversant les appareils de mesure du tableau de distribution est conduit par des câbles isolés à l'usine située au bas de la chute, et là est reparti entre trois moteurs dont deux de 100 chx et un de 12.

Cette nouvelle installation permettra d'économiser la dépense de charbon en remplaçant un moteur à vapeur de 250 chx. Actuellement l'usine conserve la vapeur pour chauffer les cylindres des sècheuses, mais il est bien présumable que l'électricité, fournie par la fameuse chute à si bon marché, lui sera sous peu substituée. La production quotidienne de cette usine est de 30 tonnes de pulpe et 25 tonnes de papier.

Os-Budavara (Turquie). — Station centrale. — Les habitants de la cité turque de Os-Budavara désireux de posséder l'éclairage électrique dont plusieurs villes hongroises, ses voisines, sont déjà dotées, ont enfin amené le conseil Municipal à étudier la question, si bien qu'à l'heure actuelle les installations sont totalement terminées.

Le courant engendré à la station centrale est réparti sur le réseau par deux sous-stations de transformation d'une capacité totale de 300 kw. L'éclairage municipal est constitué par 320 lampes à arc de 16 ampères et environ 6000 lampes à incandescence de 16 bougies. Le nombre des lampes à arc de l'éclairage privé dépasse 900 et celui des lampes à incandescence s'élève déjà à plusieurs milliers.

Plusieurs moteurs de puissances variables ont déjà été installés notamment un de 30 chx actionnant deux pompes servant à alimenter une des canalisations d'eau de la ville. La population turque est si satisfaite de l'éclairage électrique que la plupart de ces mosquées en sont dotées.

Osick (Autriche-Hongrie).— Transport de force. —La station centrale qu'on vient determiner à Osick donne un nouvel exemple de l'utilisation de l'énergie hydraulique provenant d'un lac. Ce lac, situé dans les environs de la ville, occupe sur un immense plateau une surperficie de 41 hectares. L'un des côtés de ce plateau présente une déclivité brusque de terrain faite à propos pour créer une chute artificielle. Ce projet, exposé par plusieurs ingénieurs compétents, fut rapidement mis en exécution. La Station hydraulique qui vient d'être construite est déjà pourvue d'une turbine actionnant un alternateur Granz de 42 kw et son excitatrice. Le courant produit par ce premier groupe à la tension de 550 volts est transmis par ligne aérienne à Osick distante environ 1,5 km et utilisé en totalité par trois moteurs industriels dont l'un de 40 chx. La nuit le courant est utilisé par les lampes de l'éclairage public.

Le succès qu'a remporté cette première installation va provoquer l'adjonction de nouveaux groupes générateurs, la station hydraulique ayant été construite dans cette intention.

Pittsburg (Amérique). — Station centrale. - L'installation électrique déjà importante de la Pittsburg Reduction Company à Niagara, vient d'être augmentée de 5 transformateurs rotatifs de dimensions inconnues jusqu'à ce jour. Chacun de ces transformateurs a 16 pôles et est calculé pour donner 600 kilowatts en courants continus, soient 3 750 ampères à 160 volts, leur vitesse de rotation est de 188 tours par minute. Les collecteurs de ces machines sont de dimensions peu ordinaires en raison de l'intensité du courant ; ce dernier est recueilli par des balais en graphite. Un dispositif spécial permet d'assurer une bonne ventilation du collecteur et de l'armature pour éviter l'échauffement.

Chaque transformateur à courant continu est relié à deux transformateurs de 300 kilowatts couplés par paire. Quatre des transformateurs rotatifs sont également couplés par paires, chacune alimentant un des circuits de la Pittsburg Reduction Company, le cinquième sert de réserve en attendant qu'un sixième dont la place a été prévue vienne former une troisième paire.

Ces nouvelles installations élèvent la capacité de l'usine électrique à 4 500 chevaux, sans compter une unité de 750 chevaux qui sert de réserve. Ces nouveaux groupes qui ont été installés dans un bâtiment spécial construit près de la station du Niagara seront reliés à l'usine de la Pittsburg Re-

duction Company par des câbles de fort diamètre logés dans une canalisation souterraine. L'installation étant presque terminée, on compte que les nouveaux transformateurs seront mis en service à une époque très prochaine.

Pilsen-Umgebung (*Autriche-Hongrie*). — *Traction.* — D'un commun accord entre les municipalités de Pilsen et d'Umgebung, il a été déclaré d'utilité publique l'établissement d'un réseau de chemin de fer à voie étroite et à traction électrique destiné à relier les deux villes dans plusieurs points. Le réseau est divisé en trois lignes à doubles voies qui, à part les prolongements éventuels, auront une longueur la première de 3,8 km, la seconde 3,5 km et la troisième 3 km. Le concessionnaire des travaux d'installation des voies ferrées et d'équipement du réseau s'est engagé à avoir terminé et livrer ces différentes lignes au trafic dans la période d'un an et demi, comptant du jour où la concession lui a été accordée.

Budapest (*Roumanie*). — *Traction.* — Nous avons signalé à plusieurs reprises (Voir *Ecl. Elect.* t. VII, p. 284, 9 mai 1896 et p. 380, 23 mai 1896), l'application des tramways à traction électrique du réseau de Budapest et notamment le métropolitain à traction électrique qui a été inauguré tout récemment et fonctionne depuis avec un plein succès. Les moyens de communications, déjà très multipliées dans cette ville viennent d'être encore facilités par l'extension de plusieurs lignes déjà exploitées et la création de nouvelles. Le Conseil Municipal de Budapest vient en effet de voter la prolongation de la ligne de Budapest-Donau-Ufer jusqu'à Zugliget situé dans la banlieue ; de celle de Bruckenkopfe-O.-Buda (traction à vapeur) jusqu'à Staatsbrucke et de substituer la traction électrique à la traction à vapeur, et enfin la création d'une ligne spéciale à trôlet desservant Kobanya.

L'installation de ces nouvelles lignes s'ajoutant à celles déjà nombreuses du réseau de Budapest feront de cette ville une des mieux desservies d'Europe.

Berlin. — *Traction.* — Le Conseil Municipal de Berlin a examiné les demandes de prolongation du chemin de fer élevé, à traction électrique, de Berlin-Warschauerbrucke jusqu'à Central-Vichof, celui de la ligne Gesundbrunnen-Pankow jusqu'à Oranienburgerstrasse et enfin le projet de création d'une nouvelle ligne entre Landsberger Platze et Hohen Schonhausen. Il a été décidé, après discussion, de nommer une commission qui sera chargée d'étudier chacun des projets en détails avant d'être soumis au vote.

Rome. — *Traction.* — La municipalité de la ville de Rome vient de prendre une décision par laquelle elle oblige toutes les Compagnies de tramways de la ville à supprimer la traction animale sur toutes les lignes du réseau, y compris celles de la banlieue ; en conséquence, un délai de 4 ans a été accordé aux Compagnies. Le trôlet aérien sera employé sur la plupart des lignes, à l'exception des grandes lignes passagères où on emploiera le système à conduite souterraine Siemens. Les travaux d'installation et d'équipement des lignes ont été concédés à la General Electric Company et à la maison Siemens et Halske de Berlin. Ces travaux sont actuellement en pleine voie de progrès. L'énergie électrique sera fournie par la station de transmission Tivoli-Rome qui sera pourvue, à cet effet, de nouveaux générateurs électriques à courant polyphasé.

Selon toute probabilité, les voitures du nouveau réseau seront équipées avec des moteurs à enroulement shunt du nouveau modèle, construits par la maison Siemens et Halske. Les avantages que possèderaient ces nouveaux moteurs seraient de retenir une grande partie du flux magnétique après l'interruption du circuit d'excitation et évitant, par ce fait, les conséquences pouvant résulter des interruptions momentanées du courant. Le prix de ces moteurs est de 15 à 20 pour 100 plus élevé que les moteurs en série.

Utica (*N. Y.*). — *Station centrale.* — Nous avons à signaler encore un trait de l'ingéniosité américaine dans l'installation qui vient d'être mise en service à Utica, pour actionner un pont roulant jeté sur un canal par où passent fréquemment des bateaux dont la mâture oblige souvent à ouvrir le pont. Or, ce pont étant actionné par l'air comprimé, les Américains, en gens pratiques, n'ont trouvé rien de mieux que d'utiliser les eaux du canal pour actionner les compresseurs. Une turbine a été installée et actionne une pompe à air alimentant le réservoir; pendant les heures de basses eaux, la turbine est remplacée par deux moteurs électriques de 30 chevaux installés dans ce but.

Worcester (*Mass*). — *Eclairage.* — La station centrale, déjà importante, de Worcester vient d'être agrandie dans des proportions considérables.

L'équipement électrique original de cette station comprenait 18 dynamos pour l'éclairage à arc alimentant en tout 560 lampes et deux alternateurs, l'un alimentant 1 300 lampes et l'autre 650. Le courant produit par toutes ces machines était réparti par les commutateurs d'un tableau de distribution sur 24 circuits, ne servant uniquement à l'éclairage ; l'énergie électrique employée comme force motrice était encore bien peu connue lors de la construction et l'installation de cette station, de sorte qu'aucun circuit spécial n'avait été réservé ou même prévu dans le réseau original.

Le développement considérable de l'industrie électrique dans toutes ses branches d'utilisation a été si rapide en Amérique, que la Compagnie d'éclairage de Worcester a ajouté à la capacité de sa station 23 dynamos pour l'éclairage à arc, dont 15 alimentant chacune 50 lampes et 8 alimentant 30 lampes, ce qui porte l'éclairage à arc actuel à 990 lampes. L'éclairage à incandescence est produit par 4 alternateurs de 120 kilowatts pouvant alimenter chacun 4 000 lampes, on compte actuellement 13 000 de ces dernières qui sont raccordées. Le circuit à 500 volts servant à la force motrice est alimenté par trois générateurs d'une capacité totale de 300 kilowatts. Les moteurs en service utilisant cette énergie sont à un nombre équivalent à 400 chx et dont la force varie de 1/2 à 30 chx.

Un tableau de distribution pourvu des appareils et instruments des plus modernes complète l'équipement de cette station. Il est bien présumable que malgré les agrandissements que la Compagnie a jugé nécessaire de faire, la totalité de l'énergie électrique produite sera sous peu entièrement employée.

Hartford (Amérique). — On projette d'utiliser une chûte d'eau située à environ 18 kilomètres d'Hartford et pouvant fournir une puissance utilisable de 3 000 chevaux. Cette énergie sera transformée en énergie électrique par des alternateurs Westinghouse fournissant des courants polyphasés élevés par des transformateurs au potentiel de 10 000 volts et transmis par lignes aériennes à une sous-station située à Hartford. Une partie de ce courant sera affectée à des moteurs actionnant par transmission d'autres alternateurs servant à alimenter le réseau ; le reste du courant transformé à 240 volts pour des transformateurs à courant continu qui chargeront une batterie d'accumulateurs d'une capacité de 10 000 ampères-heures.

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS, DE GENÈVE

Ce congrès s'est ouvert mardi 4 août, à 4 heures, sous la présidence de M. Turettini.

Ce congrès est placé sous le patronage de :
American Institut of Electrical Engineers, New York.
Electrotechnischer Verein, Berlin.
Electrotechnischer Verein, Wien.
Institution of Electrical Engineers, London.
Société belge des Electriciens, Bruxelles.
Société internationale des Electriciens, Paris.
Verband Deutscher Electrotechniker, Berlin.

Son comité d'honneur est composé de :
MM. Th. Turrettini, président du Comité central de l'Exposition nationale Suisse, président d'honneur.
E. Mascart, membre de l'Institut, à Paris.
G. Ferraris, professeur, à Turin.
Rousseau, professeur, à Bruxelles.
Bradley, délégué de l'American Institut of Electrical Engineers, New-York.
Von Hefner-Alteneck, délégué de l'Electrotechnischer Verein, Berlin.
Dery, ingénieur, délégué de la Société belge des Electriciens, Bruxelles.
Hillairet, délégué de la Société internationale des Electriciens, Paris.
G. Kapp, délégué du Verband Deutscher Elektrotechniker, Berlin.
E. Hartmann, délégué du Verband Deutscher Elektrotechniker, Francfort-sur-Mein.

Dans la séance d'ouverture, le bureau est constitué comme il suit :

Président : M. A. Palaz, président de l'Association suisse des Electriciens, à Lausanne.

Vice-Présidents : MM. E. Hospitalier, professeur, Paris ; Ernest Gérard, ingénieur, Bruxelles ; Gœrges, ingénieur en chef, Berlin ; Mengarini, professeur, Rome ; *secrétaires* : J. Blondin, professeur, Paris; A. Boissonnas, ingénieur, Genève ; R. Chavannes, ingénieur, Neufchâtel ; C.-E. Guye, ingénieur, Zurich.

Le comité de réception comprenait :

MM. A. Rilliet, professeur, *président* ; C. Butticaz, ingénieur, *trésorier* ; A. Le Royer, professeur, *secrétaire* ; H. Cuénod, ingénieur ; A. Naville ; A. Boissonnas, ingénieur.

Nous donnerons dans notre prochain numéro un compte rendu des diverses séances.

Dans la séance de clôture, diverses résolutions

ont été prises relativement aux précautions qui doivent être prises pour que les réseaux d'éclairage ou de transmission d'énergie ne gênent pas l'exploitation des réseaux téléphoniques et télégraphiques.

Au sujet des grandeurs et unités photométriques les résolutions suivantes sont adoptées, après une vive discussion :

1° Les grandeurs photométriques internationales ont comme base l'intensité lumineuse d'une source ponctiforme.

Elles sont résumées dans le tableau suivant :

Grandeurs	Nom de l'unité	Equation de définition
Intensité lumineuse	Bougie décimale	I
Flux lumineux	Lumen	$\Phi = I\Omega$
Éclairement	Lux, $\frac{\text{lumen}}{m^2}$	$E = \frac{\Phi}{S}$
Éclat	Bougie par cm²	$c = \frac{I}{S}$
Éclairage	Lumen-heure	$Q = \Phi t$

2° L'unité d'intensité lumineuse est la bougie décimale ;

3° Provisoirement, la bougie décimale, telle qu'elle a été définie par les Congrès antérieurs, pourra être représentée pour les besoins de l'industrie par l'intensité lumineuse horizontale de la lampe Hefner, à condition de tenir compte des corrections nécessaires.

Ajoutons que sur la proposition de M. von Hefner-Alteneck un télégramme de félicitations a été envoyé à notre collaborateur, M. A. Blondel, pour le travail remarquable sur la photométrie qu'il a présenté au Congrès.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ

Les examens de l'Ecole d'Application du Laboratoire Central d'Electricité viennent d'être terminés ; les épreuves ont été les suivantes :

1. — Projet de dynamo, corrigé par M. Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures.

2.— Projet d'éclairage, corrigé par M. Bochet, Chef du service des Installations d'éclairage électrique à la maison Sautter, Harlé et Cie.

3.— Cours de mesures et essais de machines. Interrogations par M. Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous Inspecteur du service télégraphique à la Cie des chemins de fer de l'Etat, assisté par :

MM. Violle, maître des conférences à l'Ecole Normale Supérieure, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers; Sartiaux, chef des Services électriques de la Cie des chemins de fer du Nord.

4.— Cours d'application. Interrogations par M. Janet, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris, directeur du Laboratoire central d'Electricité, assisté par :

MM. Sciama, directeur de la maison Bréguet, président de la Société internationale des Electriciens, Boucherot, Ingénieur, chef du service électrique de la Société des Etablissements Weyher et Richemond.

5.— Conférences de M. Hillairet. Interrogations par M. Hillairet. Ingénieur-constructeur, Secrétaire général de la Société Internationale des Electriciens, assisté par M. Pellat, professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Les élèves dont les noms suivent ont obtenu le diplôme et ont été classés dans l'ordre suivant :

Letheule	16
Labour	16
Renou	16
Vaucheret	15
Pignier	14
Andry-Bourgeois	13
Goubaux	13
Choulet	13
Lolivier	12

DIVERS

Nouvelle bicyclette électrique. — Un inventeur américain vient de réaliser une nouvelle bicyclette électrique dont l'équipement comprend une batterie formée de piles sèches au chlorure, disposée sous la selle et fournissant du courant à une lampe et à un petit moteur fixé dans l'angle supérieur du cadre de la machine ; ce moteur actionne la roue d'arrière au moyen d'une courroie. Le commutateur est placé non loin du guidon et à portée de la main. Le poids total de la batterie et du moteur est d'environ 7 kg. Si pour une cause quelconque il se produit quelque chose d'anormal dans le fonctionnement de ces appareils, le cycliste peut reprendre les pédales et continuer sa route à la façon ordinaire.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie Em. Mauchaussat, 32, Boul. Vaugirard.

Tome VIII — Samedi 22 Août 1896 — 3e Année. — N° 34

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur Scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

Le Congrès international des Électriciens, organisé à l'occasion de l'Exposition nationale suisse par l'Association suisse des Électriciens s'est ouvert le mardi 4 août sous la présidence d'honneur de M. Turettini.

Conformément à l'ordre du jour, la séance d'ouverture a été consacrée à la présentation des délégués des diverses Sociétés ayant accepté le patronage du Congrès et à la nomination du Bureau (1).

Trois autres longues séances ont été consacrées à la discussion des questions suivantes :

Perturbations diverses dues à la traction électrique ;

Unités photométriques et leur nomenclature;

Transport et distribution de l'énergie électrique à longue distance ;

Protection des lignes à haute tension contre les décharges atmosphériques.

Grandeurs et unités magnétiques.

Enfin une dernière séance a été occupée par la discussion des conclusions présentées par les commissions nommées dans les séances précédentes au sujet des deux premières questions.

Sans nous astreindre à suivre l'ordre chronologique des séances, nous rendrons compte dans ce numéro des rapports et discussions relatifs aux unités magnétiques et aux unités photométriques.

(1) Voir notre précédent numéro, p. 335.

RAPPORT DE M. HOSPITALIER SUR LES GRANDEURS ET UNITÉS MAGNÉTIQUES

L'utilité d'une nomenclature internationale de grandeurs et d'unités physiques n'est plus aujourd'hui à démontrer.

L'œuvre commencée par la *British Association* en 1864 a porté ses fruits, et tous les Congrès internationaux qui se sont succédé depuis 1881 ont contribué à sanctionner et à compléter le système de grandeurs et d'unités C. G. S., système dont l'adoption internationale a fait plus, en quinze ans, pour l'unification des mesures, que le système métrique, l'un des plus grands bienfaits de la Révolution française.

La nomenclature des grandeurs et unités électriques est aujourd'hui terminée, et depuis quelques années on se préoccupe, de divers côtés, d'apporter dans les grandeurs magnétiques l'unification bienfaisante qui a si largement contribué aux progrès de l'industrie électrique.

Le temps a manqué au *Congrès des Électriciens*, tenu à Chicago en 1893, pour établir une nomenclature rationnelle et cohérente des grandeurs et unités magnétiques, mais la lacune ainsi laissée se faisait rapidement sentir, et dès 1894, l'*American Institute of Electrical Engineers* s'efforçait de la combler en proposant de donner des noms d'électriciens illustres aux principales unités magnétiques C. G. S. : Force magnétomotrice, reluc-

tance, flux de force magnétique et densité ou intensité de champ.

Depuis cette époque, d'autres propositions ont surgi de divers côtés, et comme ces propositions sont contradictoires, une entente internationale devient nécessaire. Le Congrès actuel nous offre l'occasion de la tenter et l'espérance de la voir réussir.

Un certain nombre d'électriciens, parmi lesquels figurent les plus savants et les plus illustres, sont d'avis qu'il est inutile de créer des noms spéciaux pour désigner les unités magnétiques. Il suffit, à leur avis, d'adopter les unités c. g. s. et de faire suivre les nombres qui expriment les grandeurs des mots : unités c. g. s., ou même de ne faire suivre ce nombre d'aucune désignation, puisqu'il est entendu, une fois pour toutes, qu'on n'emploie pas d'autres unités.

Pour si académique que soit cette solution, elle ne donne pas satisfaction aux praticiens : il faut, pour ceux-ci, des notions concrètes, des termes précis, des mots tangibles, qui différencient les grandeurs par les noms qui servent à les mesurer. Les savants peuvent continuer à se servir des unités c. g. s., et laisser aux praticiens l'emploi de termes spéciaux. On n'attendra pas longtemps avant de voir les savants adopter la nouvelle terminologie, plus commode, plus rapide et plus précise. Si l'on en veut un exemple, nous le trouverons dans le mot de *voltage*, créé dans les usines électriques, pour remplacer l'expression fastidieuse de *différence de potentiel*; les comptes rendus de l'académie des sciences donnent aujourd'hui droit de cité à voltage. Si l'on n'y prend garde, l'*ampérage*, le *wattage* et l'*ohmage* nous guettent, et s'implanteront comme le mot voltage, en dépit de sa formation irrationnelle. Pour éviter le retour de semblables crocs-en-jambe à la logique, il est donc utile, urgent même, de fixer une fois pour toutes la nomenclature des grandeurs et unités magnétiques, en quittant le domaine élevé de la science sereine, pour se placer sur celui, plus terre-à-terre, de la pratique courante.

La nécessité de noms spéciaux une fois admise, il reste à fixer le choix de ces noms et les grandeurs des unités auxquelles ces noms doivent être appliqués.

L'*American Institute* propose d'appliquer des noms aux unités c. g. s. ; M. le professeur Lodge [1], d'une part, M. André Blondel [2], d'autre part, veulent donner ces noms à des unités pratiques convenablement choisies parmi les multiples décimaux des unités c. g. s. pour le but principal de faire disparaître le facteur 10^{-8} dans les formules qui relient la force électromotrice à l'induction magnétique dans le calcul des dynamos, transformateurs, etc. Nous nous trouvons ainsi en présence de deux systèmes résumés dans le tableau suivant

TABLEAU DES PRINCIPALES GRANDEURS ET UNITÉS MAGNÉTIQUES

Qantités magnétiques	Symbole	Nom de l'unité C. G. S. proposé par l'A. I. E. E.	Propositions de M. A. Blondel	
			Rapport de l'unité pratique à l'unité C. G. S.	Nom de l'unité pratique
Intensité de champ........	$\mathcal{H}$	Gauss	10^{-1}	Hertz (ou Gauss) par cm
Induction magnétique...	$\mathfrak{B}$	Gauss	10^{-8}	Maxwell (ou Weber) p. cm²
Flux de force magnétique...	Φ	Weber	10^{-8}	Maxwell (ou Weber)
Réluctance..	$\mathfrak{R}$	Oersted	10^{-3}	Arago (ou Oersted ou Maxwell par Hertz
Force magnétomotrice.....	$\mathfrak{F}$	Gilbert	10^{-1}	Hertz ou Gauss

Nous croyons, en présence de ce tableau, que l'hésitation ne saurait être permise, et que la préférence doit être accordée au système proposé par l'*American Institute of Electrical Engineers* en 1894 pour les raisons suivantes :

Les unités pratiques doivent être du même ordre de grandeur que les quantités à mesurer. Or, pour les plus importantes, le sys-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. IV. p. 376 ; 24 août 1895.
(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 528; 20 juin 1896.

tème de M. A. Blondel conduit à des unités beaucoup trop petites pour les besoins de la pratique, même en adoptant le multiple 10^6 (méga) de ces unités, tandis que les unités C. G. S. sont de grandeur convenable.

L'emploi de deux unités distinctes pour l'induction magnétique et l'intensité de champ n'est pas désirable, car il introduirait des erreurs incessantes dans le calcul du flux de force magnétique dans des appareils qui, comme les dynamos, se composent de parties en fer séparées par des espaces d'air.

De plus, les noms composés proposés par M. A. Blondel sont beaucoup trop compliqués pour passer dans la pratique : chaque unité doit avoir un nom simple, facile à retenir, et assez court pour que le praticien ne soit pas tenté de le raccourcir en le décapitant..... par la fin.

Mais la plus grande objection est, sans contredit, l'incommodité d'un système pratique fondé sur des multiples décimaux des unités C. G. S.

Voici d'ailleurs en quels termes M. H. Pellat, rapporteur de la Commission nommée en 1893 par la *Société internationale des Électriciens* pour examiner les propositions faites par l'*American Institute of Electrical Engineers*, se refusait à adopter comme unités magnétiques pratiques des multiples décimaux des unités C. G. S.

« L'unité pratique de force magnétomotrice proposée, sous le nom de *gilbert*, comme valant 10^{-1} unités C. G. S., est beaucoup trop petite ; par contre, les unités pratiques d'intensité de champ magnétique et de flux magnétique proposées sous les noms de *gauss* et de *weber*, comme valant 10^8 unités C. G. S., sont beaucoup trop grandes.

» L'emploi du gilbert présenterait, il est vrai, l'avantage de donner avec cette unité, le résultat du calcul de la force magnétomotrice par la formule $4\pi n I$ quand l'intensité I du courant est exprimée en ampères.

» L'emploi du gauss présenterait aussi l'avantage qu'en exprimant avec cette unité l'intensité du champ magnétique $\mathcal{H}$, la force électromotrice d'induction E développée aux extrémités d'un fil de l centimètres de longueur, placé perpendiculairement aux lignes de force, les coupant normalement avec une vitesse v C. S. serait exprimée en volts par la formule $E = \mathcal{H} l v$. Mais l'emploi simultané du gilbert et du gauss pourrait conduire, dans les calculs, à des erreurs par l'oubli d'un facteur 10^9, dans le cas où l'on voudrait calculer une intensité magnétique en divisant la force magnétomotrice par la longueur du tube d'induction considéré ; en évaluant en gilberts la force magnétomotrice et en centimètres la longueur, l'intensité du champ magnétique serait donnée avec une unité valant 10^{-1} C. G. S. et non 10^{-8} ; il faudrait donc diviser, en outre, le résultat par 10^9 pour avoir l'intensité exprimée en gauss.

» Il paraît donc plus sage de ne pas introduire ces nouvelles unités incommodes par leur grandeur et dangereuses pour l'exactitude des calculs. »

Après le congrès de Chicago, l'*American Institute of Electrical Engineers* reconnaissant le bien fondé de ces objections, modifia ses propositions, et, conservant les mêmes noms, les appliqua aux unités C. G. S. elles-mêmes, et créa le système provisoire que nous venons vous demander de sanctionner aujourd'hui par un vœu favorable.

Les seules objections que cette adoption soulève sont, d'une part, la prétendue inutilité de ces noms, et nous croyons en avoir fait justice, et, d'autre part, l'emploi d'une unité commune pour la mesure du champ magnétique et de l'induction magnétique. En voici la justification.

Dans le système électromagnétique, ces deux quantités physiques ont pour relation :

$$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H},$$

avec l'hypothèse fondamentale que μ est un nombre abstrait, un simple rapport numérique. Tant que l'on n'aura pas déterminé les dimensions absolues de la perméabilité magnétique en fonction de L, de M et de T, il sera logique et rationnel de mesurer $\mathcal{H}$ et $\mathcal{B}$

en se servant de la même unité, comme on se sert de la même unité, le centimètre, pour mesurer des longueurs, des largeurs, des hauteurs, des épaisseurs, des coefficients d'induction dans le système électromagnétique et des capacités dans le système électrostatique. Dans tous les travaux de lord Kelvin — une autorité incontestée en Angleterre comme dans le monde entier — les résistances ne sont-elles pas exprimées en centimètres par seconde ? M. le Dr Hopkinson n'exprime-t-il pas les couples (*torque*) en joules dans ses études sur les tramways ? Lord Kelvin sait bien cependant qu'une résistance n'est pas une vitesse et le Dr Hopkinson qu'un couple n'est pas un travail. Ils se servent cependant de ces unités, et avec raison, parce qu'elles résultent des hypothèses faites pour établir un système cohérent aussi simple que possible, et qui se ressent naturellement de ces hypothèses. Le jour où un état plus avancé de la science permettra de supprimer ces hypothèses et d'établir les dimensions absolues des quantités physiques, mais ce jour là seulement, il faudra tout recommencer et créer des noms nouveaux en plus grand nombre, puisqu'il ne sera plus alors légitime de mesurer avec la même unité deux quantités n'ayant pas les mêmes dimensions. Mais, dans l'état actuel de la science, et avec l'hypothèse fondamentale qui sert de base au système électromagnétique, hypothèse qui fait de la perméabilité magnétique un simple rapport numérique, il est cohérent, logique et rationnel de mesurer 𝔅 et ℋ avec une seule et même unité.

Ces quelques considérations nous semblent justifier les vœux suivants qui nous serviront de conclusion.

CONCLUSION

Le Congrès international des Electriciens, réuni à Genève, émet le vœu :

a) Que les unités magnétiques C. G. S. soient adoptées comme unités pratiques.

b) Que, pour faciliter l'enseignement et la diffusion de ces unités, des noms soient donnés aux principales unités magnétiques conformément aux propositions faites en 1894 par l'*American Institute of Electrical Engineers.*

Tableau des principales grandeurs et unités magnétiques

Intensité de champ. . . .	ℋ Gauss
Induction magnétique. . .	𝔅 Gauss
Flux de force magnétique .	Φ Weber
Force magnétomotrice . .	ℱ Gilbert
Réluctance	ℛ Œrsted

DISCUSSION DU RAPPORT PRÉCÉDENT

Dès le début de la séance du samedi 15 août, M. Hospitalier expose les principaux points de son rapport et fait ressortir les avantages que présentent, aussi bien pour l'enseignement que pour la pratique, les conclusions qu'il soumet au Congrès.

M. *Ferraris* s'oppose à l'adoption de ces conclusions et développe les raisons de cette opposition. La première est que le Congrès de Chicago a décidé de ne pas donner de noms aux unités C. G. S. En second lieu il ne lui paraît pas plus nécessaire de donner des noms aux unités magnétiques C. G. S. qu'aux unités C. G. S. de densité ou de vitesse. Il n'en voit pas non plus l'utilité pratique, car ces unités ne sont employées que par les ingénieurs et non par les ouvriers. Il critique les noms de savants choisis par le rapporteur et surtout la proposition de donner un même nom aux unités de deux grandeurs différentes, l'intensité du champ et l'induction magnétique.

M. *Kapp* et M. *Mascart* se rangent à l'opinion de M. Ferraris, tandis que M. *de Kowalski* soutient les conclusions du rapporteur en insistant sur l'utilité de donner des noms aux unités de quantités aujourd'hui couramment employées par le praticien.

M. *Hospitalier* prend la parole pour réfuter les objections de M. Ferraris. Il est persuadé que si la nécessité et l'utilité d'une dénomination des unités magnétiques n'existent pas pour ceux à qui les questions de magnétisme sont familières, elles existent pour le praticien ; il ne croit pas que le fait que Oerstedt n'a pas mesuré de réluctance et que Gauss n'a pas mesuré d'induction magnétique soit une raison suffisante pour ne pas donner les noms de ces savants aux unités de ces deux grandeurs magnétiques, car alors les noms de Watt et de Joule adoptés par les Congrés antérieurs pour dénommer deux unités du système électrique seraient également mal choisis ; enfin il ne voit aucune raison sérieuse, ainsi qu'il l'a dit dans son rapport, pour ne pas désigner par un même nom les unités d'intensité et d'induction. Il ajoute que la discussion qui vient d'avoir lieu lui montrant que la question n'est pas encore mûre, il retire les propositions de son rapport.

La séance se termine par l'adoption d'un ordre du jour de M. Mengarini réservant cette question pour un autre Congrès.

RAPPORT DE M. BLONDEL SUR LES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES

INTRODUCTION.

La question des unités photométriques, qui n'a fait jusqu'ici l'objet que de discussions partielles, se présente aujourd'hui, pour la première fois, dans son ensemble devant un Congrès international. Avant 1884, l'évaluation de la lumière se faisait par comparaison avec des étalons variables suivant les observateurs et entre lesquels on n'établissait pas de commune mesure. A la première Exposition d'Électricité, en 1881, les déterminations photométriques de MM. Allard, Potier, Leblanc, Joubert et Tresca, qui ont fait école, furent rapportées à la carcel comme unité et comme étalon.

En 1884, la Conférence internationale réunie à Paris a adopté comme étalon international l'étalon déjà proposé en 1881 par M. Violle, à la suite de ses belles recherches sur l'émission de la lumière par les métaux, et a défini l'unité de lumière comme « la quantité de lumière émise normalement par un centimètre carré de platine au moment de sa solidification ». Malgré l'ambiguité de cette rédaction, il est permis de croire que la Commission avait en vue une unité d'*intensité*.

C'est en 1889 seulement que le Congrès adopta une unité pratique d'intensité égale au vingtième du Violle, reconnu trop grand, et à laquelle on donna le nom de *bougie décimale*.

C'était à cette époque à peu près la seule grandeur photométrique qu'on fût accoutumé à considérer [1], bien que M. Hospitalier [2] eût appelé l'attention sur l'insuffisance de cette conception pour donner une idée des effets divers de la lumière. L'insuccès des tentatives faites alors pour la constitution d'un système plus complet tient, d'une part, à l'imperfection des solutions proposées et, de l'autre, au détachement que les milieux scientifiques professaient à cette époque à l'égard de cette question.

En 1893, au Congrès de Chicago, on proposa la création d'une unité d'éclairement égale à l'éclairement produit par une bougie décimale à un mètre. Cette proposition a été jusqu'ici sans sanction.

Par une singulière anomalie, les décisions de 1884 et de 1889 sont restées à peu près lettre morte en dehors des pays de langue française ; tandis que les unités électriques pratiques étaient acceptées sans opposition partout, le Violle et la bougie décimale rencontraient une opposition à peu près irréduc-

[1] Cependant on avait proposé l'emploi d'une unité d'éclairement égale à l'effet d'un Violle à un mètre en remplacement du carcel-mètre ; M. Preece recommandait concurremment une autre unité peu différente, le Candle-foot, correspondant à l'éclairement d'une Candle à un pied.

[2] Voir l'*Électricien* de 1889, et l'*Industrie électrique*, du 10 mai 1894.

tible, provenant du prix élevé, de l'emploi difficile de l'étalon et peut-être aussi d'une certaine indifférence. Les formes modifiées que certains constructeurs donnèrent à l'étalon Violle firent naître de fâcheuses et injustes préventions ; mais celles-ci n'excusent peut-être pas complètement les créateurs d'étalons nouveaux de n'avoir pas cherché à les rapporter à la bougie décimale ainsi que cela était facile.

Le besoin d'unité se fait aujourd'hui sentir plus vivement qu'autrefois à cause du lien plus intime qui s'établit chaque jour entre la photométrie et l'électricité ; il est, en effet, nécessaire d'arriver à unifier les types de lampes à incandescence pour pouvoir comparer le prix de revient de la lumière dans les divers pays et les résultats des mesures exécutées par des expérimentateurs différents ; au lieu de faire cette comparaison en tenant compte du rapport admis entre les divers étalons, il semblerait logique d'exprimer immédiatement tous les résultats en fonction d'une commune mesure. On verra plus loin que les conditions difficiles de la photométrie hétérochrome rendent l'adoption d'un étalon secondaire international également désirable.

D'autre part, les électriciens qui, pour la plupart aujourd'hui, ont fait de bonnes études théoriques et qui sont tous accoutumés en électricité à rencontrer des notions précises et des unités bien définies, commencent à s'étonner de ne pas retrouver les mêmes avantages en photométrie et aspirent à voir se condenser la nébuleuse dans laquelle celle-ci est encore enveloppée, au moins officiellement. Ce sentiment s'est manifesté dans les témoignages de sympathie qu'a recueillis un système plus rationnel récemment proposé (1). L'appui complet qu'il a trouvé auprès de M. Hospitalier, l'un des spécialistes les plus autorisés en matière d'unités (2), de professeurs éminents tels que M. Eric Gérard (1), et de savants ingénieurs comme MM. Uppenborn, Hertzog, Feldmann (2), Hering, etc..., est de nature à faire espérer qu'une entente internationale n'est pas éloignée et montre en tout cas que la question peut être utilement portée dans toute sa généralité devant un Congrès d'électriciens.

Il ne faut pas oublier, du reste, que c'est aux ingénieurs électriciens que sont dûs, en grande partie, depuis dix ans, les progrès réalisés dans la constitution du système d'unités électriques et magnétiques, et leur intervention dans le domaine photométrique pourra avoir de même la plus heureuse influence.

Les questions qu'il convient d'étudier pour choisir, en connaissance de cause, un système d'unités photométriques sont très complexes; plusieurs d'entre elles ont fait récemment l'objet d'une discussion très importante au Congrès de l'Association française à Carthage, à la suite d'un remarquable rapport de M. A. Broca ; on consultera avec fruit ces travaux (3), ainsi qu'une magistrale étude sur les étalons, publiée récemment par une Commission de l'American Institute, sous la présidence du professeur Nichols (4).

On ne pourra donner ici qu'un exposé très sommaire de ces diverses questions, en vue d'une conclusion ferme pour l'unification de la photométrie.

Le caractère de ce rapport est, en effet, d'ordre plutôt pratique que théorique, et on a cru devoir laisser systématiquement de côté toutes les considérations exclusivement scientifiques ou qui n'auraient pas une portée directe pour la question à résoudre.

(1) *Lumière Électrique*, 9 juillet 1894.

(2) *Industrie Électrique*, 10 juin 1894 et *Formulaire*, 1895. M. Hospitalier, qui avait soutenu des idées du même genre en 1889, s'est rallié complètement au nouveau système.

(1) *Traité de mesures électriques*, 1896.

(2) *Verteilung des Lichtes und der Lampen*, 1896.

(3) *Éclairage Électrique*, 25 janvier 1896, et 4-11 juillet 1896.

(4) *Standards of light. — Preliminary Report of the Sub-Committe of the Institute*, By Edward L. Nichols, Clayton H. Sharp, and Charles P. Mathews. — Presented at the Thirteenth General Meeting of the American Institute of electrical Engineers, May 20th 1896.

I. GRANDEURS PHOTOMÉTRIQUES.

Avant de définir les unités, il est nécessaire de se faire une idée bien nette des différentes grandeurs photométriques et d'en éclaircir les définitions par une rédaction précise. On supposera d'abord que les sources de lumière auxquelles on a affaire sont monochromatiques, de façon à pouvoir réduire l'étude de la lumière à des considérations purement physiques. Dans ces conditions, il suffit d'appliquer à la lumière des définitions analogues à celles qu'on emploie dans l'étude du magnétisme. On fait intervenir ainsi trois grandeurs fondamentales, qui sont le flux lumineux, analogue au flux magnétique, l'intensité d'une source ponctuelle, analogue à l'intensité magnétique, et l'intensité d'éclairement, ou plus simplement « l'éclairement », qui joue le rôle de l'induction magnétique. Toutes les autres grandeurs s'en déduisent aisément.

La seule question qui se pose et dont l'intérêt est purement philosophique, est de savoir dans quel ordre on doit enchaîner les définitions de ces diverses grandeurs, c'est à dire laquelle doit être prise comme grandeur primitive. Il semble, *a priori*, que la grandeur fondamentale doive être l'éclairement, puisque c'est en comparant les éclairements de deux surfaces qu'on photomètre en pratique les sources lumineuses. Mais de cette manière il est plus difficile de concevoir le flux, et, du reste, ce que l'œil peut apprécier dans une opération photométrique, ce n'est pas l'éclairement, mais bien l'éclat apparent des surfaces, lequel n'est proportionnel à l'éclairement que dans certaines conditions. C'est donc l'éclat qui devrait être la grandeur fondamentale ; mais celle-ci serait difficile à définir et se prêterait mal à la déduction des autres.

Il paraît bien préférable de prendre comme grandeur fondamentale le flux lumineux, qui est susceptible d'une définition physique où l'on fait intervenir l'énergie ondulatoire et qui se conserve le long d'un faisceau se propageant dans un milieu non absorbant. Le choix de cette grandeur comme notion fondamentale présente, en outre, l'avantage de réagir contre les idées fausses trop souvent répandues et de mettre la photométrie en meilleure conformité avec l'étude de la chaleur et du magnétisme, où le flux joue le rôle essentiel. A ce point de vue, il est opportun de faire disparaître du langage scientifique la vieille phrasologie qui jure avec les habitudes actuelles, par exemple les mots « quantité de lumière » ou « volume d'éclairement » dans le sens de flux, l'expression de « candlerpower » dans le sens d'intensité lumineuse, etc.

Pour beaucoup de physiciens, la notion de flux lumineux a paru jusqu'ici inutile ; c'est même pour l'éviter que l'on a imaginé la définition de l'intensité moyenne sphérique d'une source de lumière. Celle-ci serait, en effet, suffisante, si l'on n'avait jamais affaire qu'au flux total émis par une source ; mais il ne faut pas oublier que ce n'est là qu'un cas très particulier et qu'on doit pouvoir évaluer à volonté une portion quelconque de ce flux. D'ailleurs, il est nécessaire de pouvoir raisonner sur celui-ci indépendamment de la source qui le produit. La photométrie n'est complète que si elle permet d'évaluer le flux de lumière qui pénètre dans une fenêtre exposée au soleil, le flux contenu dans un faisceau projeté par un phare ou un projecteur. Jusqu'à une époque récente, on n'avait pas eu le moyen, ni même l'idée d'exprimer ce flux par un chiffre : cependant le flux est constant dans tout le faisceau depuis le moment où il tombe sur la lentille, et il constitue un des éléments caractéristiques de ces appareils. Il en est de même des appareils de télégraphie optique éclairés par le soleil : le calcul en est simple lorsqu'on fait appel au principe de la conservation du flux.

Si l'on part de cette notion de flux, celles d'éclairement et d'intensité s'en déduisent aisément ; pour cette dernière, il est seulement nécessaire de supposer que l'on a affaire à une source ponctuelle, c'est à dire de remplacer fictivement la source considérée, qui a toujours des dimensions finies, par une

source ponctuelle équivalente à grande distance. Une source n'a donc, à proprement parler, d'intensité lumineuse, dans une direction donnée, qu'à partir d'une distance telle que les lignes de flux (analogues aux lignes de force en magnétisme) soient des lignes droites.

Moyennant cette restriction, les définitions *physiques* des différentes grandeurs ne présentent aucune difficulté. En particulier, on peut recommander l'enchaînement suivant :

Source de lumière : Corps porté à l'incandescence et émettant des radiations en partie perceptibles par l'œil.

Rayons lumineux : Lignes de propagation du flux lumineux, c'est à dire normales aux surfaces d'onde.

Faisceau lumineux : Ensemble de rayons lumineux limité par une ouverture.

Énergie du faisceau : Énergie physique des ondulations limitées au faisceau.

Flux : Énergie propagée par le faisceau pendant l'unité du temps.

Éclairement sur une surface placée en un point du faisceau : Rapport du flux reçu par la surface à l'aire de cette surface, autrement dit « flux par unité de surface ».

Intensité d'une source ponctiforme dans une direction donnée : Rapport du flux émis dans un cône infiniment petit à l'angle solide de ce cône ; autrement dit, flux par une unité d'angle solide, ou « stéradian » ([1]).

On appellera « intensité » d'une source volumineuse, ou « puissance » d'un appareil optique à grande distance, l'intensité d'une source ponctuelle *équivalente*, c'est à dire produisant le même éclairement à la même distance.

([1]) Le terme « stéradian » a été proposé pour désigner un angle solide à l'unité, par le Dr Halsted et le Dr Macfarlane. Peut-être serait-il plus clair d'employer le mot « sphéradian », par abréviation de « radian sphérique ».

M. Macfarlane a proposé aussi la considération de l'intensité cylindrique d'une source cylindrique, intéressante seulement en théorie. Voir son savant mémoire, *On the units of light and radiation.* (*Am-Inst. El. Eng.* 16 janvier 1895).

Éclat intrinsèque d'une surface lumineuse suivant une direction donnée : Rapport de l'intensité lumineuse d'un élément infiniment petit de cette surface, dans la direction considérée à l'aire de la projection de cette surface, normalement au rayon ; autrement dit intensité lumineuse par unité de surface *apparente.*

Rayonnement intrinsèque d'une surface lumineuse : Flux lumineux total émis par unité de surface. Si l'on convient de ne faire aucune différence entre un flux émis ou un flux reçu, le rayonnement intrinsèque se confond avec l'éclairement ([1]) ; c'est l'éclairement intrinsèque de la source.

L'énergie *photométrique* d'un faisceau de lumière, à laquelle on donnera le nom de *quantité de lumière*, n'est plus une quantité physique seulement, mais physiologique, et qui n'a par conséquent aucune commune mesure avec la précédente. Mais on admet par convention que, pour une radiation donnée, elle lui est proportionnelle. On peut donc enchaîner les définitions photométriques, comme s'il s'agissait des grandeurs physiques dérivant de l'énergie physique de la radiation. On remarquera seulement que, si la lumière considérée n'est plus monochrome mais polychrome, le rapport entre le flux photométrique et le flux physique n'est plus le même que pour une lumière monochrome, mais varie suivant la source considérée ; nous supposerons donc dans tout ce paragraphe qu'il s'agit toujours de lumières ayant même com-

([1]) On pourrait ajouter à cette liste une autre grandeur égale au produit d'un éclairement par le temps pendant lequel il subsiste ; cette grandeur, pour laquelle le nom de « lumination » avait été proposé, peut intervenir dans certains problèmes d'ordre physiologique, et le Congrès de photographie de Bruxelles, en 1891, en avait fait la grandeur fondamentale en photographie ; mais les travaux plus récents d'Abney et de la Baume-Pluvinel (Congrès de Carthage) ont montré que l'action de la lumière sur une plaque ne dépendait pas seulement de ce produit, mais de la loi de variation de l'éclairement pendant la durée d'exposition de la plaque, ce qui enlève la seule raison d'être d'une définition spéciale.

position spectrale, et la grandeur photométrique fondamentale sera définie de la manière suivante :

Quantité de lumière : Grandeur physiologique représentant l'effet produit sur l'œil par l'énergie physique de la radiation, et égale à celle-ci multipliée par un certain coefficient d'effet physiologique, inconnu, mais constant pour une composition spectrale donnée.

Les autres grandeurs photométriques s'en déduisent, comme on vient de le dire, parallèlement aux grandeurs physiques.

TABLEAU I : GRANDEURS ET NOTATIONS

GRANDEURS PHOTOMÉTRIQUES			SYMBOLES (caractères antiques).	DÉFINITIONS
FRANÇAIS	ANGLAIS	ALLEMAND		
Quantité de lumière	Quantity of light	Lichtmenge	**Q**	$Q = k\varepsilon$
Flux lumineux	Flux of light	Lichstrom	**Φ**	$\Phi = \frac{Q}{T}$
Éclairement	Illuminations	Beleuchtung	**E**	$E = \frac{\Phi}{L}$
Intensité ou puissance lumineuse	Intensity of light or luminous power	Lichtstarke	**I**	$I = \frac{\Phi}{\sigma}$
Éclat (intrinsèque)	Intrinsec Brilliancy	Glanz	**i**	$i = \frac{I}{S \cos a}$
Rayonnement ou éclairement intrinsèque	Intrinsec Radiation or illumination	Strahlung oder innere Beleuchtung	**E**	$E = \frac{\Phi}{S}$

σ désigne un angle solide. — ε l'énergie.
k un coefficient inconnu.
a l'angle d'émission des rayons par rapport à la normale.

Quant aux *notations* à adopter pour les différentes grandeurs, elles ont été déjà indiquées par M. Hospitalier (¹), dont on ne peut mieux faire que d'adopter les propositions en même temps que son système général de notations (¹). Les symboles photométriques seraient en caractères droits et gros, dits *antiques* ; d'ailleurs les calculs photométriques n'étant pas, en général, mêlés aux calculs électriques, il n'y a pas à craindre de confusion entre les lettres communes aux deux groupes de symboles.

Le tableau I résume en trois langues (²) les dénominations des grandeurs et les notations photométriques proposées.

II. ETALONS.

Par le fait que les grandeurs photométriques sont d'ordre essentiellement physiologique, on doit renoncer à en donner une mesure physique et se contenter d'unités empiriques. Le choix d'un étalon est ainsi logiquement antérieur à celui d'une unité fondamentale. C'est là une circonstance malheureuse qui a retardé le développement normal de la photométrie, car beaucoup de bons esprits se sont refusés, pour ce motif, à aborder d'autres questions tant que celle-là n'aura pas été résolue. Aujourd'hui encore, il est probable que la détermination d'unités paraîtra à beaucoup prématurée, parce que l'on n'est pas arrivé à se mettre d'accord sur l'étalon de lumière. Mais on est obligé de constater, d'autre part, qu'il n'y a aucun avantage positif à retirer d'une perpétuelle attente et qu'il vaudrait encore mieux adopter, à titre provisoire, d'un commun accord, un étalon médiocre, mais international, que de rester dans l'anarchie actuelle. Il ne semble pas impossible, d'ailleurs, de concilier, comme on va le voir, le respect des traditions avec une solution d'ordre pratique.

Une étude détaillée des divers étalons sortirait complètement du cadre de ce rapport ; elle a été faite, du reste, par des auteurs très compétents, aux travaux desquels il est facile

(¹) *Industrie Électrique*, 25 octobre 1894.

(¹) On a seulement ajouté un symbole spécial *i* pour l'éclat intrinsèque (Intensité par unité de surface) qu'il faut se garder de confondre avec l'éclairement.

(²) D'après Blondel, Hospitalier, Uppenborn, Trotter et Carl Hering.

de se reporter (¹). On se bornera donc ici à un aperçu d'ensemble de la question.

Les étalons de lumière actuellement existants ou possibles appartiennent à deux groupes : les étalons à flammes et les étalons à incandescence.

Étalons à flamme. — Les « bougies » sont tombées dans un tel discrédit qu'il est inutile d'en parler autrement que pour en constater la disparition. En Angleterre, la « candle » est aujourd'hui représentée par l'étalon au gaz de pentane de Vernon-Harcourt ou de Dibdin ; ce dernier récemment adopté pour la photométrie du gaz à la suite des travaux d'une commission spéciale (²) est un brûleur Argand avec écran Methven, valant 10 candles. La lampe au pentane liquide est moins employée. En Allemagne, la « Kerze » est abandonnée au profit de l'étalon Hefner à l'acétate d'amyle, qui est devenu étalon légal ; les électriciens et les gaziers l'emploient également. En France, on est resté généralement fidèle à la lampe Carcel brûlant de l'huile de colza ; on emploie plus rarement la lampe Pigeon à la gazoline, la lampe à pétrole, l'étalon Hefner, le bec à gaz Giroud.

Au point de vue du combustible, on peut classer les étalons à flamme en deux catégories : les étalons à mèche, qui brûlent un liquide (Carcel, lampe Pigeon, lampe à pétrole) ou une vapeur (pentane, acétate d'amyle), et les étalons à brûleur, qui brûlent un gaz ou un mélange de gaz et de vapeur (étalons Vernon-Harcourt et Dibdin).

On peut reprocher aux premiers le rôle trop important de la mèche et la difficulté de maintenir celle-ci semblable à elle-même ; ces inconvénients sont particulièrement sensibles avec la Carcel, et doivent faire, semble-t-il, abandonner cet étalon ainsi que les lampes à pétrole ; c'est d'ailleurs le plus incommode des étalons actuels. Les lampes au pentane et à l'acétate d'amyle présentent une réelle supériorité parce qu'elles brûlent un liquide déjà complètement réduit en vapeur, sans que la mèche se carbonise. L'effet de l'échauffement progressif de la lampe qui active la vaporisation peut en outre être corrigé facilement en ramenant la flamme à sa hauteur normale.

Les étalons à gaz permettent une meilleure combustion de la flamme et théoriquement une meilleure constance de la hauteur de la flamme ; mais la difficulté est de maintenir la constance du combustible. Le gaz ordinaire est très variable ; le gaz à la gazoline de Methven est sujet aux mêmes variations de composition que la gazoline ; le gaz au pentane de Vernon-Harcourt paraît présenter une constance suffisante, d'après les expériences de Dibdin, mais on est obligé de remarquer que la teneur en pentane doit dépendre de la température du carburateur, et ne peut être corrigée par la hauteur de flamme. M. Broca a proposé de même l'emploi d'un carburateur à la naphtaline, très commode mais qui ne peut donner des résultats convenables qu'à une température constante. Le mélange par évaporation ne paraît pas d'ailleurs une solution rigoureuse.

Au contraire, l'emploi d'un véritable gaz pur (ou d'un mélange de gaz purs) brûlé dans un bec à pression constante, de Giroud par exemple, pourrait assurer une composition rigoureusement constante. A ce point de vue on doit applaudir aux tentatives faites pour la constitution d'un étalon à l'acétylène.

Parmi les étalons à flamme, les uns sont à flamme libre, les autres à cheminée. Celle-ci est une cause d'erreur lorsqu'elle n'est pas fixée dans une position invariable ; mais elle rend la flamme plus blanche et plus fixe en évitant les fluctuations constantes des étalons à flamme libre. Ceux-ci ne peuvent être employés qu'avec des précautions spéciales contre les courants d'air.

L'emploi d'un écran du genre Methven ou autre devant une flamme n'empêche pas les

(¹) Voir l'excellent *Traité de photométrie*, de Palaz ; *Die Photometrie*, de Krüss, etc., et le travail de la Commission de l'Institut américain des ingénieurs électriciens sur les étalons de lumière, cité plus haut.

(²) Report of the Photometrie Standard Committee (*Journal of Gas lighting*, 14 th mai 1895.

variations de l'intensité, comme on l'admet souvent, mais paraît, au contraire, d'après M. Crova [1] et d'autres expérimentateurs plutôt défavorable à cause des inégalités d'éclat des diverses parties d'une flamme à chaque instant ; il vaut mieux conserver la flamme totale en réglant la hauteur.

Même en supposant celle-ci constante, tous les étalons à flamme présentent une cause d'erreur très importante, plus importante même que les précédentes [2], c'est la variation de composition et de pression du comburant qui est l'air de la salle photométrique ; cette variation peut donner des erreurs de 8 pour 100 sur le Hefner, et jusqu'à 20 pour 100 sur la Carcel, sans qu'on en soit prévenu.

Ces erreurs peuvent être corrigés seulement lorsqu'on possède des renseignements suffisants sur l'étalon employé [3]. On ne pourra les éviter qu'en employant des gaz comburants parfaitement définis.

Si l'on tient compte de toutes ces causes de variations possibles, on est obligé de reconnaître que tous les étalons à flamme sont aujourd'hui encore fort imparfaits.

Ceux qui en douteraient pourraient facilement s'en convaincre en étudiant le rapport préliminaire, mentionné plus haut, de l'Institut américain des ingénieurs électriciens. Les différents étalons y sont étudiés avec beaucoup de soin par la méthode bolométrique au point de vue des variations d'intensité dont on a ainsi une mesure précise pour chacun d'eux. On constate que même les étalons considérés comme les meilleurs donnent lieu à d'énormes variations : que celles-ci soient à courte période, comme dans les bougies, la lampe Hefner, l'étalon Methven, ou à longue période comme dans la Carcel (où elles ont atteint 18 pour 100), la lampe au pentane, etc., elles n'en existent pas moins.

Les deux meilleurs étalons à flammes semblent encore être l'étalon au pentane (modèle complet) et la lampe Hefner à l'acétate d'amyle. D'après l'expérience du rapporteur, celle-ci constitue actuellement l'étalon le plus simple, le moins dispendieux, le plus commode, et peut-être le plus sûr par son facile réglage, à condition qu'on ait soin d'éviter les courants d'air, l'humidité et l'acide carbonique dans l'atmosphère où l'on opère, et enfin d'employer exclusivement de l'acétate d'amyle fourni par la maison spéciale qui le prépare en Allemagne pour cet usage [1]. Si l'on a soin de vérifier la hauteur de la flamme avant chaque mesure, on obtient des chiffres plus comparables qu'avec la carcel, dont la lumière est très fixe mais subit des variations d'une heure à l'autre. Néanmoins l'emploi de sa flamme libre ne permet pas de le considérer comme parfait ; la teinte en est d'ailleurs beaucoup trop rouge, comparativement à celle des sources actuelles, et l'intensité absolue trop faible pour la facilité des mesures, qui exigerait environ une carcel.

Il y a donc lieu de chercher encore un bon étalon à flamme : l'étalon à l'acétylène, proposé récemment en France par M. Violle [2] et en Amérique par M. Fessenden [3] et par la commission dont on vient de parler, pourra peut-être donner des bons résultats surtout si l'on a soin de définir, comme le propose celle-ci, non-seulement le combustible, mais encore le

(1) Congrès de l'Association française à Carthage.

(2) Les variations de température de l'enceinte peuvent influer aussi sur l'éclat de la flamme ; mais les expériences de Dibdin ont montré que, pour les flammes libres, cette influence est négligeable.

(3) C'est le cas de l'étalon Hefner, sur lequel Liebenthal a fait des recherches très complètes, En appelant x la proportion de vapeur d'eau en litres par m^3, x' celle de l'acide carbonique ; b la pression atmosphérique en mm. de mercure, la formule de Liebenthal peut s'écrire

$$I = 1{,}049\,(1-0{,}0053\,x)\,(1-00072\,x) + 0{,}00011\,(b-760)$$

x peut se mesurer par les procédés connus; on rendra x' négligeable en se plaçant dans une salle vaste et ventilée.

La valeur moyenne $I = 1$ correspond à $x = 8{,}8$ litres; c'est elle qui définit la valeur de l'étalon Hefner.

(1) On ne trouve pas en France de bon acétate d'amyle, pas plus que de bon pentane.

(2) *Société française de Physique*, mai 1895 et janvier 1896.

(3) *Industrie Électrique*, 1895, p. 176.

comburant (¹) et la pression. L'acétylène présente une difficulté spéciale, c'est la grande quantité de carbone qu'il contient et sa formation endothermique, qui donne lieu trop souvent à l'obstruction des orifices (²). On pourrait lui substituer l'éthylène pur et brûlant dans l'oxygène pur, à pression constante gaz aussi facile à manier et n'ayant pas ces inconvénients tout en présentant une flamme assez brillante ; le prix de revient de l'éthylène comprimé est plus élevé, mais ce ne serait pas un obstacle grave pour un étalon.

Étalons à incandescence : Les étalons à incandescence consistent dans l'emploi d'une substance inaltérable dans le milieu où elle est placée et portée à l'incandescence par un brûleur ou le passage d'un courant.

A cette catégorie appartiennent les lampes à incandescence électrique et les manchons en oxydes rares d'Aüer von Welsbach et analogues ; mais ces deux appareils voient leur rendement subir, avec le temps, des variations très importantes, et surtout très sensibles au début du fonctionnement.

Ces deux types d'étalons ne peuvent donc être considérés que comme des instruments temporaires ; comme tels ils peuvent rendre des services (surtout les incandescentes), lorsqu'on s'en sert seulement dans la partie à peu près horizontale de leur courbe d'intensité en fonction du temps de leur service.

Pour constituer un véritable étalon, on a surtout songé au platine incandescent. Si l'on porte une lame de celui-ci pur à une température fixe dans une enceinte de composition bien déterminée, il résulte de lois de Kirchhoff que sa radiation aura toujours même intensité et même composition. La seule question à résoudre est alors de reproduire avec exactitude la température choisie.

La solution la plus rationnelle semble être de se placer à la température d'un changement d'état. C'est ce qu'a fait M. Violle en choisissant la température de solidification. On doit regretter seulement que la disposition de l'enceinte n'ait pas été spécifiée, car il suffit d'un changement dans l'ouverture du creuset et la température du diaphragme de 1 cm² à travers lequel on observe la surface du platine pour modifier l'éclat de celui-ci (¹). La façon la plus satisfaisante (bien qu'elle ne présente pas un caractère de nécessité) de définir l'enceinte serait de spécifier qu'elle sera fermée et isotherme avec le platine et construite en une substance donnée, la chaux. Il suffit, pour la réaliser avec une précision satisfaisante, d'employer un petit four entièrement fermé et percé d'une ouverture très petite dans le couvercle délimité extérieurement par le diaphragme.

Il est probable que cette précaution ferait disparaître les variations constatées. Du reste il est à remarquer que si on laisse de côté les étalons de Schwendler et Siemens, aujourd'hui abandonnés, les critiques dirigées par MM. Lummer et Kulbaum étaient dues aux impuretés du platine, lesquelles présenteraient les mêmes inconvénients dans leur propre étalon.

Ces auteurs ont préféré employer (²) une lame de platine placée dans une enceinte bien spécifiée et portée à une température définie par le degré l'incandescence au moyen d'une

(¹) La commission fait brûler un mélange de deux parties d'acétylène et d'une partie d'hydrogène dans un courant d'oxygène pur, tous les gaz étant secs (l'humidité doit être soigneusement évitée). Il serait nécessaire également d'enfermer cette flamme dans une enveloppe à température bien déterminée, comme l'ont fait MM. Lummer et Kurlbaum. La forme la plus simple d'enveloppe serait, comme le propose M. Broca une gaîne cylindrique contenant de l'eau à la température d'ébullition.

(²) D'après les expériences du Service central des phares, cet inconvénient peut être évité en donnant au gaz une vitesse suffissante et en refroidissant le bec.

(¹) C'est là une simple conséquence des lois de Kirchkoff; elle a été vérifiée du reste par M. le Chatelier au cours de ses études sur son pyromètre optique ; il a remarqué en effet que l'éclat d'un crayon de magnésie incandescent n'est pas le même à l'extérieur que dans une cavité. (*C. R. Société française de Physique*, 1893). M. Guillaume a rappelé l'attention sur ce point au Congrès de Carthage.

(²) *Elektrot. Zeitschrift*, 22, p. 507. 1895.

mesure bolométrique trop longue à rappeler ici ; une erreur de 10 pour 100 sur cette détermination entraîne une variation de 3 pour 100 sur l'intensité lumineuse. Si l'on tient compte de la complication de cette détermination et de la délicatesse des appareils employés, on est obligé de reconnaître que, malgré son ingéniosité, cet étalon ne peut être pratique entre d'autres mains que celles de ses auteurs (1) ; rien n'empêcherait d'ailleurs d'appliquer les mêmes procédés à l'étalon Violle, et par conséquent un changement de la température adoptée par celui-ci n'est pas justifié ; l'étalon Lummer et Kurlbaum est, en outre, trop rouge.

Au lieu du platine, la commission américaine se propose de porter à l'incandescence une plaque de carbone et d'en mesurer la température par des procédés plus pratiques ; il faudra évidemment la placer dans le vide et définir, non seulement la disposition de l'enceinte, mais encore l'espèce de carbone employé ; la seule stable à haute température est le graphite, mais il est malheureusement très friable.

Au lieu d'adopter comme point fixe la température de solidification, on peut aussi choisir la température de volatilisation ; c'est ce qui a conduit Abney, et après lui Swinburne, Thompson et Blondel à préconiser un étalon que ce dernier a réalisé sous le nom d'arc-étalon (2), et dans lequel la source de lumière est une surface connue du cratère. Comme les précédents, cet étalon n'a donné de bons résultats qu'entre les mains de son auteur, à cause des précautions minutieuses qu'exige le choix de la position la plus brillante du cratère (3). Mais le même principe pourrait être appliqué à un autre corps, tel que l'argent ou l'or, que l'on ferait bouillir dans un creuset par un procédé convenable, en particulier par l'arc électrique.

En définitive, on voit que les étalons incandescents, s'ils échappent aux causes des variations des étalons à flammes et sont théoriquement parfaits, sont d'autre part très délicats à réaliser et jusqu'ici peu pratiques.

Choix des étalons internationaux. Rien ne permet de prévoir qu'on puisse arriver prochainement à une solution meilleure que les précédentes ; en tous cas des progrès seront toujours possibles. Ce serait donc une utopie que de déclarer qu'un étalon sera définitif, ou d'attendre l'apparition d'un tel étalon pour en faire l'unité internationale. C'est ce qu'a pensé fort justement la conférence de 1884, lorsqu'elle a choisi l'étalon Violle, sans attendre de travaux dans d'autres directions.

Les qualités que devrait présenter l'étalon parfait seraient : la constance, une teinte de lumière convenable, comprise entre celle des lampes à incandescence et celle de l'arc, une facile reproduction et un prix peu élevé, enfin un emploi commode qui le mette à la portée de tous les laboratoires. Dans ces conditions, un étalon international unique, construit d'après un modèle uniforme, serait suffisant. Actuellement ce merle blanc n'existe pas, d'après ce qu'on vient de voir ; les étalons à flamme et les incandescentes électriques sont jusqu'ici les seuls appareils portatifs, les étalons au platine les seuls appareils constants.

Il a donc paru rationnel de résoudre la question par un procédé différent et indirect, en adoptant, non pas un, mais *deux étalons* : un étalon au platine *primaire* (que l'on a appelé à tort *absolu*) devant servir de prototype et qu'on peut conserver seulement dans des laboratoires spéciaux ; un étalon *secondaire*, constitué, au gré de l'observateur, par l'un quelconque des appareils à flamme, rapporté à l'étalon primaire par un tarage direct. De cette façon, on a pu définir une unité vraiment satisfaisante pour l'esprit, c'est à dire reposant sur un phénomène physique

(1) D'autres propositions analogues d'unités de lumière, basées sur des définitions bolométriques plus ou moins compliquées, présenteraient probablement le même inconvénient.

(2) Congrès de Chicago, 1893 et « The Electrician » 1er décembre 1893.

(3) M. Trotter a montré, en 1894, à la Société Royale de Londres, que cette position est soumise à des déplacements périodiques.

bien déterminé ; ce qui n'eût pas été possible avec des étalons à flamme, dont la définition est toujours purement empirique.

Toute proposition d'adopter un étalon à flamme comme étalon unique ou primaire serait d'ailleurs inacceptable actuellement, étant données les énormes variations de ces étalons d'après les conditions atmosphériques.

Mais on doit reconnaître que la combinaison que l'on a voulu réaliser ne l'a pas été réellement ; car il n'existe aucun laboratoire officiel où l'on puisse venir faire étalonner directement un étalon secondaire en fonction de l'étalon Violle ; celui-ci ne remplit donc pas réellement le rôle d'un étalon primaire mais plutôt, en fait, d'une *unité théorique*. A Paris même, au Laboratoire Central, le seul étalon primaire employé est la Carcel, à laquelle on attribue une valeur de 9,68 bougies, plus ou moins conventionnelle, et dont on a fait plus haut la critique. Quels que soient les motifs de cet état de chose, on doit les constater et exprimer le désir que des travaux sérieux et désintéressés soient exécutés de nouveau pour refaire de l'étalon Violle un étalon primaire et le perfectionner s'il y a lieu. Il n'y a du reste aucun motif de l'abandonner, tant qu'on n'aura pas trouvé un meilleur étalon primaire ou un bon étalon secondaire ; alors seulement il sera rationnel de reprendre la question à fond. D'ailleurs la solution à intervenir à cette époque n'aura pas nécessairement pour résultat de supprimer l'unité Violle, mais simplement, si on le veut bien, de la *représenter* par un étalon plus commode, en lui conservant le caractère d'une unité théorique de fait, comme aujourd'hui. Rien n'empêchera en effet de limiter la flamme ou la partie incandescente du nouvel étalon de façon à reproduire avec une approximation aussi grande que possible la valeur de l'unité Violle. C'est ce qu'a fait du reste M. Violle lui-même pour son nouvel étalon à l'acétylène, et il a constaté que la composition spectrale était peu différente pour les deux sources, circonstance très heureuse d'après ce qu'on verra au chapitre IV.

Le réglage de l'étalon futur devrait être confié au Bureau international des Poids et mesures, comme toutes les études analogues relatives aux étalons.

En attendant, l'emploi d'un étalon international secondaire provisoire est très désirable pour l'unification des mesures.

Les lampes Vernon-Harcourt et Hefner sont les seules qui remplissent à peu près les conditions désirables. Cette dernière est la plus constante, la plus simple, et son faible prix permet à tous de l'employer. Elle diffère assez peu, comme intensité, du vingtième de l'unité Violle [1] pour que la différence soit négligeable, étant donné l'incertitude qui règne actuellement sur la valeur de cette unité et sur les mesures comparatives. On pourrait donc accepter la lampe Hefner comme représentant pratiquement la bougie décimale, à *titre provisoire*, sans engager en rien l'avenir.

Cette combinaison respecterait les décisions des Congrès antérieurs, ne porterait aucune atteinte à l'unité Violle et au principe fondamental qu'une unité doit être définie par un phénomène physique simple ; elle donnerait en même temps satisfaction aux vœux des électriciens français et allemands [2], aux théoriciens partisans de l'unité du platine et des praticiens partisans de l'unité Hefner. Elle semble ainsi avoir le plus de chance de succès qu'une solution absolue dans tel ou tel sens.

C'est pour ce motif qu'on a laissé ici de côté d'autres propositions, cependant fort remarquables, pour la détermination d'une unité rigoureuse, notamment celle de M. Ch.

---

[1] Le rapport $\frac{\text{Hefner moyen}}{\text{Violle}} = 1{,}06$ d'après M. Violle et 1,02 d'après les mesures allemandes. Il suffirait donc d'augmenter la vapeur d'eau dans l'atmosphère de quelques litres, ou de baisser la flamme de 1 mm pour obtenir l'égalité. On peut réserver que cette modification aura lieu une fois que le rapport aura été déterminé d'une manière plus précise.

[2] Plusieurs électriciens allemands à Chicago, et plus récemment MM. Herzog et Feldmann, ont déjà proposé d'adopter le Hefner comme unité internationale.

Ed. Guillaume, exposée au Congrès de Carthage. Il sera toujours temps d'en tenir compte lorsque des travaux expérimentaux auront permis d'en juger la valeur pratique.

Nous avons laissé également de côté la question très délicate des étalons à employer pour des sources de teintes différentes, la réservant pour le chapitre IV.

III. Unités.

On supposera encore provisoirement qu'il s'agit seulement de lumières isochromes. L'unité fondamentale ne peut être, comme on l'a dit plus haut, à cause de la nécessité d'une représentation concrète, que l'unité d'intensité (¹). Cette unité est à la fois physique et physiologique. La constitution du système photométrique exige en outre l'emploi d'une unité de longueur et d'une de temps.

En prenant le centimètre et la seconde on se rapprocherait du système c. g. s. Mais en réalité il ne peut y avoir entre les deux systèmes aucun rapport direct ; car la masse, quantité physique, est remplacé ici par l'intensité lumineuse, quantité physiologique. Le système c. g. s. suffit à l'évaluation de toutes les grandeurs dans l'étude physique des radiations où l'énergie s'exprimera en ergs, le flux en ergs par seconde, l'éclairement en ergs par seconde et par cm^2, etc... ; il est sans application pour l'évaluation des grandeurs photométriques. Par conséquent il est inutile de chercher une symétrie entre les deux systèmes, et l'on doit se contenter de prendre l'unité de longueur la plus commode, qui est ici le mètre ; pour le temps, on pourra de même remplacer la seconde par l'heure.

Les trois unités primitives étant fixées, il est facile d'en déduire toutes les autres d'après les équations de définition des grandeurs correspondantes, en modifiant seulement l'ordre dans lequel on les avait enchaînées.

Les seules questions qui se posent sont la détermination du nombre des unités nécessaires et le choix des noms à leur donner.

En ce qui concerne ceux-ci, il semble nécessaire d'adopter des vocables nouveaux qui évitent toute confusion avec les anciens. Cela est particulièrement opportun pour l'unité fondamentale pratique, admise égale à la bougie décimale ($^1/_{20}$ de Violle). En effet, ce qu'il s'agit de constituer, c'est une unité, non pas française, mais internationale ; et le mot « bougie décimale » n'est pas traduisible dans les autres langues, où le mot bougie a depuis longtemps des acceptions légales différentes.

Par suite de cette circonstance, qu'on n'avait pas prévue en 1889, l'unité adoptée sans difficulté dans les pays latins et un peu en Amérique, n'est pas du tout devenue universelle, et on ne sait jamais, quand on lit un travail étranger, surtout traduit en français, à quelle bougie on a affaire ; le seul moyen d'en finir, c'est d'adopter un nom nouveau, plus clair et plus court.

La même obligation s'impose pour les unités dérivées, dont les noms prêtent actuellement à de grandes confusions : l'éclairement par exemple, est exprimé tantôt en bougies à un mètre, tantôt en bougies-mètre, tantôt incorrectement en bougies, ce qui est fréquent. Dans ce dernier cas, on voit tout de suite quelles erreurs peuvent se produire ; ce serait bien pis si l'on employait la « bougie-par-mètre-carré » comme on l'a aussi proposé. Un nom nouveau évitera toute ambiguité.

De même pour le flux, que l'on est fort embarrassé d'exprimer et qu'un spécialiste distingué, M. Maréchal, a été obligé, faute d'unité, d'évaluer en are-bougie-mètre (abréviation de décamètre-carré-bougie-à-un-mètre).

Les noms des unités à choisir n'ont pas besoin d'être des noms d'hommes célèbres ; il est même désirable qu'ils soient formés autrement, pour bien distinguer les unités photométriques des unités électriques et ma-

(¹) On peut, il est vrai, prendre aussi bien l'éclat comme unité fondamentale lorsqu'on part d'un étalon à éclat uniforme ; mais ce n'est pas une solution générale. D'ailleurs elle est, par le fait, équivalente à l'autre.

gnétiques, avec lesquelles elles n'ont rien de commum, par suite de leur caractère physiologique. Des noms tirés des langues anciennes, tels que « pyr » (du grec πυρ foyer lumineux), « lumen » et « lux » (¹), exprimant tous l'idée de lumière, paraissent bien convenir par leur brièveté. Les multiples et sous-multiples se formeraient par des préfixes suivant les règles ordinaires.

Quant au nombre des unités à choisir, il est évidemment égal à celui des grandeurs définies plus haut ; mais en pratique les trois seules qui reviennent fréquemment sont les unités d'intensité, de flux et d'éclairement ; cela permettra de réduire à trois les noms nouveaux, les autres étant des mots composés. Les définitions des unités peuvent être, par exemple, les suivantes que l'auteur a proposées, il y a deux ans, avec l'appui de M. Hospitalier, et qui sont aujourd'hui adoptées par MM. Eric Gérard, Herzog et Feldmann, etc.

Unité d'intensité lumineuse : « Pyr » L'intensité d'une source formée par une surface plane de 5 mm² de platine incandescent à la température de solidification (1/20 du Violle), observée à grande distance suivant la direction normale.

Unité d'éclairement : « Lux. » L'éclairement produit par une source ponctuelle d'intensité égale à 1 pyr dans la direction considérée, sur une surface placée à l'unité de distance (un mètre) normalement au rayon.

Unité de flux : « Lumen. » Le flux reçu par une surface de 1 mètre carré présentant un éclairement uniforme de un lux.

Unité d'éclat intrinsèque : L'éclat d'une petite surface rayonnante produisant l'unité d'intensité par unité de surface apparente ; pratiquement ce sera le « pyr par centimètre carré ».

Unité de quantité de lumière ou d'éclairage : Le produit de l'unité de flux par l'unité de temps (seconde) ; pratiquement ce sera le « lumen-heure » par analogie avec l'ampère-heure (¹).

Ces unités sont résumées dans le tableau ci-dessous, ainsi que leurs définitions. Celles-ci sont d'ailleurs susceptibles de variantes par le fait des relations entre les quantités correspondantes. Par exemple on pourra dire aussi que l'unité de flux est le flux produit « dans un stéradian » par une source uniforme de 1 pyr, et que l'unité d'éclairement est l'éclairement produit par un flux de 1 lumen tombant suivant une direction quelconque sur une surface de 1 m².

TABLEAU II : UNITÉS

Grandeur	Nom de l'unité	Equation de définitton	Dimensions
Intensité..........	Pyr	I	I
Flux.....	Lumen (= pyr × stéradian)	$\Phi = I\sigma$	1
Éclairement.. / Rayonnement ...	Lux (= Lumen : m²)	$E = \frac{\Phi}{S}$	$I L^{-2}$
Éclat.............	Pyr par m²	$i = \frac{I}{S}$	$I L^{-2}$
Quantité de lumière............	Lumen-heure	$Q = \Phi T$	$I T$

Quelques personnes pourront s'étonner de voir proposer l'emploi de deux unités différentes, le pyr et le lumen, pour deux grandeurs ayant mêmes dimensions physiques, mais l'emploi d'une seule unité entraînerait l'inconvénient qu'on ne pourrait exprimer sans ambiguité le flux total d'une source ; par exemple une source de 25 carcels-intensité supposée uniforme dans toutes les directions, donnerait un flux de $25 \times 4\pi = 1275$

(¹) Il est vrai que le mot « lux » a déjà été proposé par M. Preece ponr le candle-foot ; mais il n'en existe pas d'exemple d'application dans ce sens, tandis que depuis 1889, plusieurs auteurs, en particulier M. Palaz, l'ont employé dans l'acception de bougie à un mètre. M. Preece ne peut trouver aucun inconvénient à ce changement d'acception qui lui conserve la paternité du mot « lux » si heureusement choisi.

(¹) Pour certain travaux où cette unité serait trop grande, ou pourrait employer le « lumen-seconde » en lui donnant le nom abrégé de « rad » déjà employé en photographie.

carcels-flux ; comment pourrait-on se reconnaître au milieu de ces chiffres contradictoires. La commission de 1881 avait cru tourner cette difficulté en imaginant la notion de l'intensité moyenne sphérique, égale au flux total divisé par 4π ; la notion de flux est ainsi escamotée dans un cas particulier ; mais on a vu plus haut qu'elle reparaît forcément lorsqu'on veut considérer des flux partiels ou indépendants, ainsi que cela est nécessaire.

Du reste, l'emploi d'unités différentes pour des quantités de mêmes dimensions se présente constamment en électricité et en magnétisme pour des motifs analogues ; par exemple, on n'emploie pas la même unité pour le pôle magnétique et pour le flux magnétique. De même, personne ne songerait à exprimer les forces magnéto-motrices en ampères, sous prétexte qu'elles sont le produit de l'intensité du courant par un nombre ; mais on a créé des unités spéciales « gilbert » ou « ampère-tour » ayant une individualité indépendante parce que ce sont des quantités de natures différentes.

L'emploi de trois unités fondamentales paraît donc bien justifié.

Remarque relative à la définition des lampes électriques.

Il est à remarquer qu'il règne jusqu'à présent une regrettable confusion dans la manière d'évaluer pratiquement l'effet utile des lampes électriques. Pour les lampes à incandescence, on a pris tantôt l'intensité horizontale moyenne, tantôt une intensité horizontale, dans telle ou telle direction ; pour les lampes à arc, on prend tantôt l'intensité horizontale, qui n'est d'aucun renseignement, tantôt l'intensité à 40°, tantôt l'intensité moyenne sphérique, ou, enfin, suivant l'usage des constructeurs, l'intensité maxima. Il serait très utile de rendre comparables les mesures en unifiant les bases de comparaisons.

La quantité la plus importante pour définir l'effet utile d'une source est le flux total de lumière produit [1]. Il est donc désirable que ce soit lui qu'on indique toutes les fois que ce sera possible sous forme d'un nombre de *lumens*, de façon à éviter les confusions auxquelles donne lieu l'intensité sphérique ou hémisphérique lorsqu'on oublie l'épithète.

Pour les lampes à arc, ce flux est sans rapport fixe avec l'intensité maxima, car la courbe de répartition des intensités est plus ou moins aplatie suivant l'écart et le diamètre des charbons.

Pour les lampes à incandescence, au contraire, qui sont aujourd'hui constituées généralement par un filament rond présentant un fer à cheval avec une boucle, le flux total en lumens est très peu différent de 10 fois [2] le nombre de pyrs trouvés pour l'intensité horizontale maxima (mesurée dans la direction perpendiculaire au plan moyen du fer à cheval). La connaissance de cette intensité est donc suffisante pour la pratique ; par exemple, si l'on a affaire à une lampe de 16 pyrs, on saura qu'elle produit sensiblement 160 lumens ; et permettra d'éclairer à l'éclairement moyen de 1 lux les parois d'une salle ayant 160 m² de surface totale enveloppante (plafond, planchers et murs).

IV. INTERPRÉTATION DES UNITÉS DANS LA PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME

La diversité des étalons, au point de vue de la teinte, n'est qu'un cas particulier de la diversité des sources à étudier. La lampe à huile, le bec papillon, la lampe à incandescence, l'arc et le bec Aüer von Welsbach sont autant de types de sources très différentes au point de vue de la composition spectrale. On peut s'en faire une idée approximative par la considération du degré d'incandescence.

Le degré d'incandescence est, comme on le

---

[1] Certains auteurs préfèrent considérer le flux produit au dessous de l'horizon ; mais celui-ci n'a d'intérêt que dans l'éclairage public, cas tout à fait spécial, et on peut, du reste, le supputer avec une suffisante approximation quand on connaît le flux total.

[2] Plus exactement, π^2 fois.

sait, d'après la proposition de M. Crova, adoptée par le Congrès de 1889, le quotient des intensités (relatives à la Carcel) des radiations de longueur d'onde $\lambda = 582$ et des radiations de longueur d'onde $\lambda = 357$ (1). M. Crova a indiqué, par exemple, les chiffres suivants, en prenant comme unité le degré d'incandescence de la Carcel (2).

Source :

Carcel.	1,00
Soleil	2,00
Lampe à incandescence . .	0,75 à 1,25
Arc électrique	1,69
Bec Aüer, suivant la consommation (93 à 105 litres)	1,30 à 1,41

Dans la plupart des mesures on a donc à évaluer une lumière en fonction d'un étalon de teinte différente, et il convient de se demander ce que devient la signification d'une unité dans ces conditions.

Ce problème est un cas particulier du problème général de la photométrie hétérochrome qui a fait l'objet de travaux étendus et remarquables, surtout de la part de MM. Macé de Lépinay et Nicati (3), Crova (4), Charpentier (5).

(1) On détermine l'intensité lumineuse par rapport à la Carcel en interposant devant l'œil une cuve contenant le mélange de chlorure de nickel et de perchlorure de fer dans des proportions qui laissent passer une partie des radiations comprises entre les longueurs d'onde 630 et 534 avec un maximum bien accusé de 582 ; une seconde détermination est faite en plaçant l'œil devant un verre rouge qui transmet les radiations comprises entre l'extrémité rouge du spectre et le voisinage de la raie D ; le rapport de la première à la seconde donne le degré d'incandescence. Il serait plus scientifique de définir le degré d'incandescence comme le rapport des intensités bolométriques de deux radiations ; c'est seulement pour se dispenser de mesures bolométriques qu'on prend *comme unité de degré d'incandescence* celui d'une source connue, la Carcel, par exemple.

(2) *Comptes-rendus des travaux du Congrès International des électriciens, en 1889*, p. 210, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 15 octobre 1894.

(3) *Annales de physique et de chimie*, 1883.

(4) *Idem*, 1885, t. 6 ; C. R. de l'Ac. Sc., 1881, p. 959 ; *Journal de Physique*, 2e série, t. I, etc.

(5) *La lumière et les couleurs*, etc.

On s'inspirera donc des résultats de leurs recherches (1).

Distinction entre deux bases de comparaison des lumières hétérochromes : La comparaison peut être faite, comme on le sait, par deux méthodes distinctes :

a) En égalisant les teintes de deux surfaces éclairées uniformément ;

b) En égalisant la perception des détails d'un objet éclairé par l'une ou l'autre source ; c'est à dire en égalisant les acuités visuelles dans les deux modes d'éclairage.

Ces méthodes peuvent être distinguées, d'après les expressions de MM. Macé de Lépinay et Nicati, en méthode d'égale clarté et méthode d'égale acuité,

Les résultats obtenus par les deux procédés ne coïncident que pour des lumières isochromes ; pour les autres, ils diffèrent d'autant plus que l'inégalité des compositions spectrales est plus grande. Cela tient probablement, comme l'admet M. Charpentier, à l'existence de deux fonctions de la vue distinctes, l'une qui donne la sensation de lumière, l'autre qui fait percevoir les détails ; pour une même couleur, ces deux fonctions ne suivent pas la même loi de variation quand on fait varier l'intensité réelle (2).

Il convient, en pratique, de choisir la méthode en vue de l'application à laquelle la source est destinée. Il semble, d'après les expériences de Charpentier, que les valeurs de l'intensité visuelle pour les différentes couleurs sont dans une proportion plus approchée de celle des énergies physiques des radiations que les valeurs de l'intensité lumineuse ; d'autre part, l'effet utile d'un éclairage est, la plupart du temps, mesuré par la facilité avec laquelle il permet de distinguer les détails. Il sera donc, en général, plus rationnel d'opérer par la méthode d'égale acuité que par celle d'égale clarté.

(1) On en trouve une excellente exposition dans le traité de photométrie de Palaz.

(2) M. Charpentier distingue une troisième espèce de sensibilité chromatique, qui fait percevoir la coloration, et dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

Il résulte de la différence des résultats obtenus dans les deux méthodes que le système d'unités établi en lumière isochrome doit être considéré ici comme définissant la source-unité en même temps aux points de vue de la clarté et de l'acuité visuelle. Cela revient à dédoubler le système des grandeurs et, par suite, celui des unités en deux autres différant par un simple coefficient de proportionalité et servant, l'un à la mesure de l'intensité *lumineuse* et des autres grandeurs qui en découlent, l'autre à la mesure de l'intensité *visuelle* et des grandeurs correspondantes, flux et éclairement, etc., au point de vue de l'acuité.

Il en résulte aussi que les étalons secondaires ne peuvent plus être définis en fonction de l'étalon international par un seul chiffre ; il en faut deux, exprimant respectivement :

La valeur de l'étalon en *pyrs d'intensité lumineuse* ou de clarté ;

La valeur de l'étalon en *pyrs d'intensité visuelle* ou d'acuité.

Quand on photométrera une source en fonction d'un étalon, on devra, pour les mêmes motifs, spécifier avec soin le mode de comparaison adopté et tenir compte de la valeur de l'étalon en fonction de l'unité suivant le même mode de comparaison.

Tant qu'on a affaire à des sources de teinte jaune, la différence entre le nombre de pyrs de clarté et le nombre de pyrs d'acuité est peu importante, parce que les radiations de la moitié la moins réfrangible du spectre (jusqu'à $\lambda = 0{,}52\ \mu$) donnent des intensités lumineuses et visuelles à peu près proportionnelles ([1]). Mais il n'en est plus de même pour les sources à rayons très réfrangibles telles que l'arc électrique ; la différence devient alors très importante, et il paraît indispensable de distinguer les deux valeurs. Cela présente d'ailleurs un intérêt pratique considérable au point de vue du prix de revient de l'éclairage pour les salles où on lit ; car la comparaison de l'arc avec l'incandescence doit alors se faire par l'acuité visuelle plutôt que par la clarté.

Comme les unités doivent pouvoir s'appliquer même à des sources très colorées, il est nécessaire d'examiner les difficultés théoriques et pratiques que soulève la mesure de celle-ci ; ces difficultés sont à la fois d'ordre théorique et pratique. On les examinera successivement.

Difficultés théoriques spéciales à la photométrie hétérochrome.

Quel que soit le mode de comparaison que l'on adopte, on rencontre dans la photométrie hétérochrome des difficultés, résultant de l'inégalité des yeux des opérateurs, de la fatigue, de l'inégale sensibilité des différentes parties de la rétine, et de l'inégalité des lois de variation de la sensation suivant les radiations.

Laissons de côté la première cause d'erreur, dont il est bien difficile de s'affranchir autrement qu'en excluant des laboratoires de photométrie les observateurs plus ou moins daltoniens. La fatigue de l'œil, d'après les auteurs cités plus haut, se fait sentir surtout sur les radiations les moins réfrangibles ;

([1]) On en trouve une démonstration très précise dans les mesures de MM. de Lépinay et Nicati, qui ont, dans un même spectre, mesuré les deux intensités de chaque radiation en les rapportant respectivement à l'intensité de même nature de la radiation la plus forte prise comme unité ; ils ont trouvé ainsi, pour un éclairement de 0, 25 Carcel à un mètre, les rapports suivants :

Pour $\lambda = 0\mu 670$ Rapport $\frac{\text{intensité lumineuse}}{\text{intensité visuelle}} = 0{,}945$

$0\mu 589$	0,967
$0\mu 537$	1,055
$0\mu 500$	2,240
$0\mu 471$	4,408
$0\mu 449$	5,668

Le phénomène de Purkinje, dont on parlera plus loin accroît encore beaucoup plus les différences lorsqu'on opère avec un éclairement plus faible ; pour un éclairement deux fois moindre, le dernier rapport pour $\lambda = 0{,}449$ devient égal à 18.

l'œil soumis à la clarté du jour perçoit ensuite moins bien le rouge que le bleu. Il est donc nécessaire de le soumettre à un repos convenable avant les observations.

En ce qui concerne la nature de la rétine, M. Charpentier, en 1887, et Donders, en 1880, ont montré que la fovea centralis (tâche jaune) est moins sensible que le reste de la rétine aux radiations les plus réfrangibles (bleu, violet, etc.). Il en résulte que la comparaison de plages éclairées par des lumières de teintes différentes peut donner des résultats différents suivant l'angle visuel sous lequel on voit les surfaces étudiées ; la diminution du diamètre apparent d'une source réduit l'effet des radiations bleues plus que celui des radiations jaunes ; d'où la nécessité d'opérer toujours dans des conditions identiques, soit sur des surfaces très petites, soit au contraire, sur des surfaces très grandes. L'angle apparent au-dessous duquel la réduction de la surface ne change plus les résultats de la comparaison, a été déterminé par MM. Macé de Lépinay et Nicati, qui ont trouvé 45', angle correspondent sensiblement à la dimension de la tache jaune. C'est à cet angle de 45' qu'il convient de limiter les dimensions des test-objet dans la méthode d'acuité visuelle.

Le phénomène de Purkinje, indiqué pour la première fois par celui-ci, puis étudié ensuite par Dove, Helmholtz, Macé de Lépinay, Nicati, Charpentier, etc., consiste en ce que la loi de variation des sensations en fonction de l'intensité objective ne suit pas la même loi pour les différentes lumières simples. Elle croît plus lentement, avec l'éclairage, pour le bleu que pour les radiations moins réfrangibles. Si donc, l'on égalise deux sources, l'une rougeâtre et l'autre jaunâtre, lorsqu'elles donnent un faible éclairement toutes les deux puis qu'on vienne à augmenter celui-ci, en valeur absolue, la source jaune prédominera ; ce serait l'inverse si on réduisait l'éclairement. La conclusion immédiate, c'est qu'il est impossible d'établir un rapport unique entre deux radiations différentes et, par suite, entre deux sources d'inégales teintes. C'est pourquoi, en théorie, toutes les méthodes fondées sur l'emploi des écrans colorés sont plus ou moins approximatives. Helmholtz est allé trop loin cependant en disant que toute comparaison de deux sources de lumière de couleurs différentes est impossible. La véritable conclusion doit être plutôt que : *la comparaison de deux lumières de teintes différentes ne peut être représentée que sous forme d'une courbe indiquant les valeurs de leur rapport en fonction des valeurs absolues des effets que l'on compare.*

Dans le cas de la comparaison par égale clarté, les valeurs absolues à noter sont celles des *éclats apparents* des surfaces comparées, éclats qu'on peut mesurer comme les éclats ordinaires en pyrs par cm² (¹), ou simplement rapporter à un éclat unité, par exemple l'éclat d'une couche de sulfate de baryte fraîchement préparée et recevant un éclairement de 10 lux (unité de MM. de Lépinay et Nicati). Dans le cas de la comparaison par égale acuité, on déterminera, au lieu des éclats intrinsèques, les acuités visuelles exprimées en minutes à la façon ordinaire.

Si l'on a soin de faire connaître l'étalon qui a servi à la comparaison, on aura aussi une définition parfaitement nette d'une lumière colorée. En négligeant, comme on va le dire, la petite différence de teinte qui existe entre l'étalon employé et l'étalon au platine, on peut à la rigueur se dispenser de mentionner l'étalon.

(¹) Si l'on ne dispose pas d'un photomètre permettant la mesure des éclats intrinsèques, on peut évaluer ceux-ci avec une approximativement sufffisante d'après l'éclairement en admettant que la diffusion du papier mat par réflexion suit la loi de Lambert ; alors l'éclat est égal à $\frac{1}{\pi}$ du rayonnement intrinsèque.

Le papier blanc ordinaire diffuse 0,70 environ du flux incident ; le buvard blanc, 0,80 environ. L'éclat apparent d'un papier soumis à l'éclairement de E. lux est donc approximativement en *pyrs par m²*.

$i = E \times \frac{0,70}{\pi} = 0,222\ E$ pour le papier blanc ordinaire

et

$$i = E = \frac{0,80}{\pi} = 0,255\ E \text{ pour le buvard blanc.}$$

Si l'on recule devant le travail du tracé d'une courbe complète, on pourra, par convention, se contenter d'une ou deux déterminations correspondant à des points remarquables, par exemple à l'éclairement de 1 lux ou à l'acuité visuelle de 1'. Il faudra seulement avoir le soin de l'indiquer en regard du nombre de pyrs, lux ou lumens obtenu. On devra donc dire, pour une définition complète, non pas « une source de *n* pyrs », mais bien sous une forme rigoureuse :

TABLEAU III

PROCÈS-VERBAL D'UNE MESURE PHOTOMÉTRIQUE RATIONELLE DANS LE CAS LE PLUS GÉNÉRAL. EXEMPLES (1)

1 Adaptation des yeux de l'observateur	2 Source photométrée	3 Grandeur mesurée. Lumineuse.	3 Grandeur mesurée. Visuelle.	4 Méthode et photomètre employés	5 Étalon employé. Nom	5 Étalon employé. Valeur en pyrs. Lumineux	5 Étalon employé. Valeur en pyrs. Visuels	6 Conditions de la comparaison. Eclat des surfaces comparées	6 Conditions de la comparaison. Acuité visuelle réalisée	7 Valeur par rapport à l'étalon	8 Valeurs en unités internationales. Lumineuse	8 Valeurs en unités internationales. Visuelles
Repos de 1/2 heure, puis observation pendant 5 minutes d'un écran blancs soumis à un éclairement d'environ 1/100 de lux.	Arc à courant continu de 9 ampères sous 45 volts.	Intensité moyenne sphérique.		Égale clarté. Photomésomètre combiné avec photomètre à papillotement. Lectures toutes les minutes ; on a fait la moyenne de 20 lectures.	Carcel	9,68		Papier ordinaire éclairé à 1 lux ; éclat environ 2,2 pyrs par m².		60	577 pyrs.	
Idem.	Arc à courants alternatifs de 10 ampères sous 30 volts.		Intensité maxima (à 42° au dessous de l'horizon).	Égale acuité. Examen direct d'échelles de Nicati.	Hefner		1,02		1' environ.	512		522 pyrs.
Repos préalable de 1/2 h dans la salle photométrique.	Lampe à incandescence de 16 bougies.		Intensité visuelle horizontale maxima.	Égale acuité. Caractères imprimés.	Hefner		1,02			15,5		15,8 pyrs.

(1) Le troisième exemple indique un compte-rendu simplifié dans le cas d'une mesure où le phénomène de Purkinje n'est pas à craindre ; la colonne 6 est alors inutile. La colonne 1 a pour but principal de rappeler aux observateurs la nécessité de reposer leur vue.

Une source de *n* pyrs d'intensité lumineuse à l'éclat de *p* pyrs par m².

Ou une source de *n* pyrs d'intensité visuelle à l'acuité visuelle de 1'.

Telle est la façon dont peut être interprété l'usage des unités pour la photométrie des lumières colorées, et le tableau III indique la façon d'appliquer très simplement les remarques précédentes à la rédaction d'un procès-verbal de mesure.

La question est ainsi résolue dans le cas le plus général ; elle se simplifie en général pour la photométrie des sources naturelles usuelles. En effet, il résulte des expériences de MM. Macé de Lépinay et Nicati que le phénomène de Purkinje est négligeable pour les radiations de la moitié la moins réfrangible du spectre (au-dessous du vert moyen $\lambda > 0,51 \mu$) et croît ensuite très rapidement avec la réfrangibilité [1] ; aussi est-il négligeable dans la comparaison des lumières de teinte jaune, telles que les lampes à huile et les incandescentes électriques.

D'après les auteurs qu'on vient de citer, tant qu'on considère des sources ordinaires, même pour la lumière solaire, les radiations qui donnent lieu aux phénomènes ci-dessus étudiés entreraient pour une trop faible part dans la radiation totale pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte. On pourrait donc, pour la pratique ordinaire en électricité, négliger d'une façon générale le phénomène de Purkinje, et s'en tenir ainsi simplement au dédoublement indiqué plus haut pour les unités suivant le mode de comparaison suivi.

Cependant cette conclusion est peut-être un peu trop optimiste lorsqu'on compare l'arc électrique à un étalon très rouge, tel que la lampe Hefner ; dans ce cas il serait opportun, pour plus de sûreté, de suivre la méthode indiquée pour les sources colorées. Mais il vaudra mieux établir simplement un étalon plus blanc ; l'étalon à l'acétylène, dont la teinte est intermédiaire entre celle des lampes à incandescence et celle de l'arc, paraît devoir être particulièrement avantageux à ce point de vue.

La solution idéale consisterait à employer pour chaque espèce de lumière un étalon approprié de même composition spectrale avec lequel la comparaison se ferait en lumière isochrome ; il suffirait alors que ces étalons fussent étudiés comparativement une fois pour toutes d'après les indications précédentes. Si toutes les sources lumineuses étaient des corps noirs incandescents, on pourrait même, comme l'a proposé M. Broca, étudier une fois pour toutes les propriétés d'un étalon noir à tous les degrés d'incandescence et il suffirait alors pour définir une lumière, de faire connaître son intensité calorimétrique donnée par un bolomètre et son degré d'incandescence ; MM. Lummer et Kurlbaum ont proposé d'employer leur étalon de cette manière, mais il ne pourrait réaliser des degrés d'incandescence suffisants. Pour le moment, la question ne semble pas encore assez mûre pour pouvoir être discutée utilement par un Congrès et l'on se borne donc à signaler en vue de l'avenir cette intéressante solution. Celle de l'étalon unique à haute température bien que moins parfaite, est suffisante actuellement et beaucoup plus simple.

Difficultés pratiques de la Photométrie hétérochrome et méthodes applicables.

En laissant de côté les difficultés précédentes, l'œil n'en reste pas moins le seul instrument utilisable pour la comparaison de deux lumières de composition différente et, malheureusement, il est souvent très embarrassé de formuler un jugement.

1° Tout d'abord, si l'on demande à plusieurs observateurs d'égaliser par la méthode d'égale clarté deux plages éclairées, l'une par une lumière bleuâtre, l'autre par une lumière rougeâtre, les résultats sont absolument discordants; les erreurs peuvent atteindre facilement 10 pour 100 dans la photométrie de l'arc électrique et 50 pour 100 dans la comparaison de radiations simples. La méthode d'égale clarté n'est donc pas applicable sous sa forme ordinaire.

MM. Macé de Lépinay et Nicati conseillent de réduire les deux surfaces à comparer à une très faible dimension, telle que leur largeur réunie sous-tende un angle au plus égal à 45' ; alors la différence de teintes devient insensible, et l'œil peut apprécier le moment où

[1] Il est plus marqué dans la comparaison de deux couleurs simples par égale acuité que dans la comparaison par égale clarté. Mais les couleurs les plus réfrangibles ne jouent qu'un très faible rôle dans l'acuité visuelle obtenue à l'aide de sources usuelles.

ces deux plages paraissent également éclairées. Mais dans ces conditions la sensibilité différentielle devient faible et, par suite, on a peu de précision; le phénomène de Purkinje continue d'ailleurs à se produire.

M. Allard est arrivé antérieurement à des résultats équivalents et en réduisant, non pas l'étendue des plages, mais leur éclairement ce qu'il obtenait en clignant les yeux, jusqu'à ce que la différence de teinte disparût; ce procédé est très commode mais donne également peu de sensibilité. En outre la mesure est faite, par le fait même, dans des conditions d'éclairement mal définies si l'on n'a pas soin d'affaiblir la lumière par des procédés plus mesurables.

Un des procédés les plus parfaits qu'on puisse actuellement employer pour la comparaison par égale clarté est la méthode dite de papillotement (flicker) fondée sur la persistance des impressions lumineuses, ainsi que l'ont suggéré en France M. Charpentier [1] et en Amérique M. Whitman [2]. Le premier détermine successivement sur un disque à secteurs blancs et noirs les éclairements qu'il faut réaliser par chacune des lumières à comparer pour faire disparaître le papillotement. C'est une méthode de double pesée sans étalon; mais on pourrait l'appliquer par comparaison, en éclairant simultanément deux disques semblables par les deux sources respectivement. La méthode de M. Whitman, plus directe, consiste à faire tourner l'un devant l'autre deux disques éclairés chacun par une des deux sources à comparer et dont l'un est évidé sur la moitié de la circonférence; si les deux sources sont de même teinte on peut régler la vitesse de façon qu'une inégalité très faible d'éclairement fasse apparaître un papillotement. Si ensuite, avec le même éclairement et le même étalon, on compare une source de teinte différente, on pourra égaliser encore son éclairement en la déplaçant jusqu'à ce que le papillotement disparaisse. Cette ingénieuse méthode donne,

(1) Congrès de l'association française en 1896.

(2) *Physical Review*, 1896.

d'après l'auteur, une sensibilité suffisante, comparable à celle obtenue pour les sources de même teinte; elle fait disparaître complètement la difficulté de l'inégalité de teinte et elle est très satisfaisante pour l'esprit. Mais il va sans dire qu'elle n'élimine pas le phénomène de Purkinje et qu'il faudra, par conséquent, toujours spécifier la valeur absolue de l'éclat apparent des surfaces comparées suivant les règles générales posées plus haut.

2° La méthode d'égale acuité est plus satisfaisante, car elle permet de formuler un jugement net sur la valeur d'un éclairage ou d'une source au point de vue de lecture; on peut en effet toujours se rendre compte si l'on voit ou si l'on ne voit pas les détails d'un dessin sur un fond blanc indépendamment de la coloration de la lumière qui l'éclaire. Mais les résultats obtenus peuvent être très différents suivant la façon dont ces dessins sont réalisés. Pour que la méthode puisse donner des résultats comparables, il est nécessaire d'employer des test-objets bien définis et convenablement choisis et, dans le cas où le phénomène Purkinje est sensible, de définir en même temps l'acuité observée. On peut employer en particulier les échelles typographiques d'acuité construites d'après le principe de Snellen [1]. Parmi les meilleurs on cite celles du Dr Nicati (où figurent aussi les les test-objets de MM. de Lépinay et Nicati).

Cet auteur a même établi, d'après la loi de Fechner, des échelles qui permettent d'apprécier l'éclairement d'un local par simple inspection de l'échelle; il suffit d'examiner celle-ci à la distance fixe 3 50 m (plus exacte-

(1) C'est à dire des lettres ou figures inscrites dans un carré et présentant des épaisseurs et écartements égaux aux $\frac{1}{5}$ du côté. Si on appelle d l'épaisseur ou l'écartement des traits, D la distance de l'observateur, l'angle visuel en minutes est donné par la formule pratique

$$L = 3{,}44 \frac{\text{d mm.}}{\text{D mètres}}$$

c'est à dire que 1 mm. vu à 3,44 sous-tend un angle de 1'. Les échelles sont faites pour être placées à cette distance

ment 3,44) et de voir quel est le numéro qui disparaît pour en déduire la valeur de l'éclairement rapportée à la carcel à un mètre (environ 10 lux) comme unité ; cet éclairement est sensiblement celui qui permet de réaliser l'acuité de 1'.

M. Charpentier préfère la distinction des points blancs sur fond noir et il détermine l'intensité visuelle par l'éclairement nécessaire pour faire apparaître distinctement tous les points d'un groupe de petits trous très fins et très rapprochés percés avec des aiguilles dans une lame opaque placée en avant d'un écran en papier blanc éclairé ; tant que l'éclairement de celui-ci reste au-dessous d'une certaine valeur qui dépend du diamètre des trous on n'a qu'une sensation confuse de lumière, et la distinction des points est un caractère très net, que M. Charpentier estime meilleur que la distinction des caractères noirs sur fond blanc. Pour un même observateur le minimum de lumière nécessaire est sensiblement indépendant de la fatigue antérieure et constant pour un même observateur, de sorte que celui-ci peut, lorsqu'il a taré son écran, photomètrer une source sans source de comparaison ; on indiquera encore l'acuité visuelle correspondante calculée d'après l'écartement des trous. En général, pour définir pratiquement une source au point de vue de l'acuité visuelle, on fera bien de s'en tenir à l'emploi de caractères noirs sur fond blanc, car ce qui intéresse c'est la facilité de lecture, dont on a ainsi une mesure directe (¹).

Malgré la simplicité de ces méthodes sans étalon, surtout intéressantes au point de vue physiologique, il convient pour les physiciens de les employer seulement à titre d'approximation, et d'opérer par comparaison toutes les fois qu'on veut faire des mesures précises. On évite ainsi toute considération hypothétique telle que celle de la loi Fechner et tout l'effet de la fatigue sur le minimum perceptible. Il existe d'ailleurs des photomètres, en particulier, ceux de Weber et de Blondel et Broca, qui permettent d'appliquer aisément toutes ces méthodes en comparant les effets simultanés de deux sources sur des échelles d'acuité ou des écrans placés, soit en dehors soit en dedans de l'appareil.

Les méthodes qu'on vient de passer en revue sont de méthodes directes, dont on saisit facilement la portée et qui se prête bien au système de définitions rigoureuses qu'on vient d'établir. Il en est pas de même des artifices que l'on va examiner.

Critique des artifices proposés pour faciliter la photométrie hétérochrome

Plusieurs savants éminents, préoccupés d'éviter les difficultés qu'éprouve l'œil à égaliser deux lumières hétérochromes, se sont proposé d'en ramener la mesure à une comparaison en lumière simple en déterminant une fois pour toutes la relation qui relie pour chacune l'intensité totale aux intensités de deux radiations de longueur d'onde connue ou, mieux même, d'une seule.

On remarquera à priori que le but même qu'ils se proposent ainsi est en général incompatible avec la loi de Purkinje, qui ne permet pas d'établir entre une lumière blanche et une radiation simple un rapport fixe. Il faut donc limiter l'emploi de ces méthodes au cas où les mesures seront toujours rapportées au même éclairement absolu fixé une fois pour toutes ou à la même acuité visuelle.

La première de ces méthodes est due à M. Macé de Lépinay, et peut servir de base à celles de MM. Crova et Nichols, Weber, etc. Le point de départ est une loi de Becquerel, d'après laquelle tous les corps élevés à une même température devraient émettre de la lumière de même composition spectrale ; il en résulterait que tous les corps lumineux ayant un spectre commun à chaque température, il suffirait de déterminer pour chacune de celles-ci *(à un éclairement donné)* le rapport de l'intensité totale I à l'intensité d'une radiation donnée (le rouge, par exemple, dont nous appelons l'intensité *R*) et le degré d'in-

(¹) Publiées par la Société d'Éditions scientifiques, 4, rue Antoine Dubois, à Paris.

candescence rapport des radiations verte et rouge.

On aurait donc évidemment

$$\frac{I}{R} = f\left(\frac{V}{R}\right)$$

M. Macé de Lépinay prend comme M. Crova le degré d'incandescence de la Carcel comme unité et ramène à l'aide de quelques déterminations expérimentales par la méthode d'égale clarté à l'aide de petites surfaces la fonction f à la forme approximative

$$I = R \times \frac{1}{1 + 0{,}028\left(1 - \frac{V}{R}\right)}$$

où I représente en carcels la valeur de l'intensité *lumineuse* sous l'éclairement qui a servi à M. de Lépinay à calculer sa formule ; Les intensités rouges et vertes sont mesurées au moyen de cuves remplies de dissolutions bien définies au perchlorure de fer et au perchlorure de zinc.

M. Weber représente la fonction $f\left(\frac{V}{R}\right)$ par une série de constantes empiriques K qu'il préfère déterminer séparément, mais cette fois par la méthode d'égale acuité et en prenant comme unité le degré d'incandescence de la lampe Hefner, de son photomètre bien connu.

Son I est donc différent de celui considéré par M. Macé de Lépinay, bien que la méthode soit la même en apparence ; elle donne l'intensité *visuelle* (pour l'acuité réalisée par M. Weber lorsqu'il a établi ses coefficients, dans le cas des sources très hétérochromes).

Enfin, MM. Crova et Nichols ramènent la comparaison à une seule mesure faite dans une radiation donnée $\lambda = 582$ ce qui revient, comme il est facile de le comprendre, à donner à K une valeur particulière. M Crova a déterminé celle-ci dans le cas du spectre solaire comparé à une lampe Carcel, par l'acuité visuelle. Mais au lieu de comparer en bloc les lumières totales des deux sources comme M. Weber, il a mesuré pour chacune les valeurs des radiations composantes en fonction de l'une d'entre elles (d'où multiplication des causes d'erreurs) et en a fait ensuite l'intégration graphique. A priori le résultat ne doit être valable que pour les deux sources comparées par M. Crova (Carcel et Soleil) puisque le rapport $\frac{I}{R}$ varie avec le degré d'incandescence et que celui-ci change avec la source, sauf le cas des sources tout à fait semblables. Croire que l'on pourrait comparer un bec Aüer ou un arc avec un étalon Hefner par exemple au moyen de la cuve de M. Crova, serait une conclusion qui dépasserait de beaucoup les prémisses posées par cet auteur [1].

D'ailleurs la loi expérimentale de Becquerel citée plus haut a été établie seulement pour des *corps placés dans une enceinte à la même température*, cas auquel elle se confond avec la loi théorique de Kirchhoff ; la théorie montre qu'elle est inapplicable pour des corps placés dans une enceinte froide, comme c'est le cas des sources de lumière, à moins que l'on considère seulement des corps parfaitement noirs, ce qui est un cas exceptionnel. La formule de M. Macé de Lépinay ne peut donc être considérée comme générale et ne s'applique, comme il l'a du reste indiqué plus récemment, qu'aux sources ayant pour corps incandescent le carbone (flammes, lampes à incandescence [2], arc).

Enfin, il est à remarquer que tous les coefficients des auteurs précédents deviennent inapplicables l'orsqu'on a affaire à un éclairement mixte produit par plusieurs sources de nature différentes dans un même local.

Les méthodes reposant sur l'emploi des écrans colorés sont en définitive peu généra-

[1] Il suffit, du reste, pour en constater l'inexactitude dans ce cas de porter à la même température des manchons incandescents de compositions différentes ; on voit immédiatement que les teintes ne sont pas les mêmes.

[2] Et encore, d'après les expériences du prof. Weber, de Zurich, les lampes à incandescence présentent deux variétés de carbone différentes dont la radiation ne suit pas exactement la même loi.

les, un peu suspectes comme rigueur, à cause des erreurs qu'ont pu faire sur les coefficients les auteurs eux-mêmes et de celles que peut faire l'observateur dans leur application, et enfin elles ne tiennent pas compte jusqu'à présent du phénomène de Purkinje.

Pour tous ces motifs, il convient que les électriciens ne se laissent pas trop détourner par ces ingénieuses méthodes, en apparence plus commodes, des méthodes directes exposées plus haut et qu'ils ne les emploient qu'après avoir étudié complètement leurs points de départ. Faute de cette précaution, ils risqueraient de trouver des résultats peu concordants et de confondre les unités visuelles avec les unités lumineuses,

Le tableau III résume dans le cas le plus général les indications qui doivent constituer le compte-rendu d'une mesure photométrique bien faite. Dans le cas de sources hétérochromes, on y fera figurer plusieurs lectures correspondant à des valeurs absolues différentes.

Ces méthodes s'appliquent aux mesures d'intensité. Dans la mesure des éclairements, il résulte des principes exposés ci-dessus qu'on devra toujours employer des photomètres permettant de mesurer l'éclairement lui-même ou l'acuité.

Pour la mesure directe des flux par la méthode des Lumen-mètres ou de la moyenne sphérique, il conviendra de même, en photométrie hétérochrome, de toujours définir les conditions dans lesquelles on a opéré.

Ces indications peuvent être naturellement simplifiées dans le cas où la source a une teinte très voisine de celle de l'étalon, par exemple lorsqu'on compare une incandescente électrique à la Carcel.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Les considérations développées ci-dessus peuvent être résumées dans les conclusions suivantes :

1° La définition internationale des grandeurs photométriques considérées en lumière isochromes est indépendante des considérations physiologiques et du choix des unités.

2° Si on se borne au cas de la photométrie isochrome, le choix d'unités internationales est possible indépendamment de la fixation d'un étalon secondaire commun ; le système proposé a pour premier but de satisfaire à tous les désidérata pratiques dans ce cas simple en attendant des perfectionnements ultérieurs.

3° La photométrie hétérochrome fait intervenir des considérations physiologiques qui. dans toutes les mesures où le phénomène de Purkinje est sensible, forcent à définir d'une manière précise :

a) l'étalon secondaire servant à la comparaison ;

b) le mode de comparaison adopté (égale acuité ou égale clarté) ;

c) la valeur absolue de l'éclat intrinsèque des surfaces comparées si on emploie la méthode d'égale clarté (supposées ramenées aux conditions de la vision directe) ou la valeur absolue de l'acuité visuelle constatée au moment de la comparaison, si l'on emploie la méthode d'égale acuité ; en supposant les surfaces très grandes ou au contraire l'angle de vision inférieur à 45'.

4° La photométrie hétérochrome n'est possible dans toute sa généralité que si l'on compare directement les éclairements produits par les deux sources sans interposition d'écrans colorés ; elle doit se faire exclusivement par comparaison simultanée des effets de la source et de l'étalon, et non par réduction à un minimum perceptible non contrôlé.

5° La comparaison d'une source avec un étalon, lorsque le phénomène de Purkinje est sensible, ne peut être complète que si on la fait pour plusieurs valeurs de l'éclairement ou de l'acuité. La comparaison complète des mesures obtenues par divers expérimentateurs n'est possible complètement que si leurs étalons ont été eux-mêmes rapportés à l'éta-

lon primaire par les deux méthodes. Le système d'unités doit donc être dédoublé en deux systèmes correspondant aux deux propriétés différentes (lumineuse et visuelle) de l'étalon.

6° Il est désirable, pour rendre le phénomène de Purkinje négligeable pour toutes les sources industrielles y compris l'arc, soit de recourir à l'emploi d'étalons multiples de teintes variées, soit plus simplement de déterminer un bon étalon secondaire international d'éclat intermédiaire entre la lampe à incandescence et l'arc facile à employer comme source de comparaison dans les mesures pratiques.

L'étalon à l'acéthylène ou à l'étylène paraît devoir satisfaire à ces conditions, à la condition de définir exactement les gaz comburés et comburants, la pression et la température de l'enceinte.

Cet étalon devra être présenté à l'adoption d'un Congrès, après examen par une commission internationale, et son réglage sera fait ultérieurement par le Bureau international des poids et mesures.

7° En attendant cet avenir, peut-être très éloigné, on peut se contenter de rapporter tous les étalons connus à l'unité Violle ; l'étalon Hefner est celui qui peut le plus simplement être employé par tous, et on peut sans grande erreur lui attribuer provisoirement la valeur de 1/20 de Violle.

8° On simplifierait beaucoup le problème de la photométrie hétérochrome en effectuant toujours les mesures par convention dans des conditions simples bien définies :

a) Dans la méthode d'égale clarté, en opérant sur des surfaces très grandes en papier buvard blanc présentant un éclairement de 10 lux, et en employant des photomètres à papillotement.

b) Dans la méthode de comparaison par égale acuité, en prenant comme test-objet une échelle d'acuité visuelle normale et en faisant la mesure à l'acuité 1'.

PROPOSITIONS SOUMISES AU CONGRÈS

Comme sanction pratique à ces conclusions, le Rapporteur à l'honneur de soumettre au Congrès les propositions suivantes, dans leur ordre de présentation :

1° Les grandeurs photométriques internationales sont celles qui sont résumées dans le tableau I (page 345) ; il est recommandé d'employer, autant que possible, les dénominations et symboles qui figurent dans ce tableau.

Dans la photométrie hétérochrome, chacune de ces grandeurs a deux valeurs, correspondant, l'une à l'intensité lumineuse, l'autre à l'intensité visuelle ; on les distinguera par ces mêmes épithètes.

2° Le Congrès adopte et recommande pour l'évaluation de ces grandeurs un système d'unités internationales pratiques dont les noms et définitions sont résumées dans le tableau II (page 352).

Chacune sera à la fois unité d'action *lumineuse* et d'action *visuelle*.

3° La base de ce système est l'unité pratique de lumière blanche adoptée par le Congrès de 1889, dont on complètera la définition en spécifiant que le platine est dans un four fermé, et à laquelle on donnera désormais le nom de « PYR » pour éviter toute ambiguité ; tous les étalons actuels seront rapportés à cette unité.

Le choix d'un étalon international qui donne une représentation facile de cette unité est réservé à l'examen d'un Congrès ultérieur et sera discuté dès que des recherches scientifiques et pratiques auront permis d'aboutir à un étalon réellement satisfaisant comme constance, comme composition de lumière et comme facilité de reproduction.

4° Provisoirement, et pour faciliter l'unification des mesures, le pyr pourra être représenté pratiquement par la lampe Hefner, en tenant compte des corrections à faire en fonction de la composition de l'air servant à la combustion.

5° Les procès-verbaux de mesures des des diverses grandeurs devront faire mention

de l'étalon employé et de sa valeur, et rapporter les résultats aux unités internationales. Lorsqu'il s'agira de sources hétérochromes, il est recommandé en outre de mentionner la méthode de comparaison employée, et, suivant celle-ci, l'éclat absolu des surfaces comparées ou l'acuité visuelle constatée lors de l'égalisation des intensités, conformément aux indications du tableau III (page).

6° Le Congrès recommande, lorsqu'il s'agit de l'évaluation photométrique des lampes électriques, de spécifier la direction des rayons suivant laquelle la mesure de l'intensité est effectuée ; on définira de préférence la puissance des lampes à incandescence par l'intensité maxima (mesurée dans la direction perpendiculaire au point moyen du filament), et celle des lampes à arc par le flux total produit, ou, à son défaut par l'intensité dans la direction du maximum (35 à 50° au dessous de l'horizon, suivant les cas).

APPENDICE

Exemples d'applications des Grandeurs et Unités proposées.

Pour rendre plus précises les notions et définitions développées dans ce rapport et montrer combien elles peuvent faciliter les raissonnements et les calculs, il a paru utile de donner ici quelques exemples numériques de leurs applications.

Exemple I. — Une source lumineuse ayant une intensité de 50 pyrs uniforme dans toutes les directions est placée au centre d'un globe opalin de 0,30 mètre de diamètre diffusant la lumière d'une manière parfaite, suivant la loi de Lambert, c'est à dire proportionnellement au cosinus de l'angle d'émission des rayons ; ce globe absorbe 30 pour cent de la quantité de lumière produite. On demande de calculer l'éclat de sa surface, l'éclairement qu'il peut produire à une distance de 3 mètres du centre et son intensité équivalente à grande distance.

Le flux total émis par la source est $4\pi \times 50 = 628$ lumens.

La surface du globe est, d'autre part, $4\pi \times (0,15)^2 = 0,283$ m², et le rayonnement extérieur a pour valeur $E = 0,70 \frac{50}{(0,15)^2} =$ 1555 lumens par m² = 1555 lux.

Pour les corps suivant la loi du cosinus on démontre facilement que le rayonnement est égal à π fois l'éclat intrinsèque ; on a donc immédiatement pour valeur de l'éclat $i = \frac{1555}{\pi} = 496$ pyrs par m².

En vertu de la même loi, l'éclairement en un point quelconque de l'espace, *représenté par un vecteur*, est égal au produit de l'éclat par l'angle solide sous lequel la source lumineuse est vue de ce point. Or, à une distance de trois mètres, le contour apparent du globe est un cercle distant du centre de $\frac{0,15}{3} \times 0,15 = 0,0075$.

L'angle solide est donc $\sigma = \frac{\pi \times 3 \times 0,0075}{(3)^2} = 0,00785$

et, par suite, l'éclairement $E = 496 \times 0,00785 = 3,9$ lux, valeur égale à celle qu'on trouve directement en posant

$$E = \frac{0,70 \times 50}{9} = 4,9.$$

Il s'agit de l'éclairement vectoriel dirigé ici suivant un rayon du globe ; si la normale au plan sur lequel on observe cet éclairement fait un angle α avec ce vecteur, on n'aura plus que $0,39 \cos \alpha$ lux.

A grande distance le globe a pour contour apparent un cercle diamétral et se comporte par conséquent comme une source plane de surface 0,0706 m² et de même éclat 496 pyrs par m² ; son intensité équivalente est donc $0,0706 \times 496 = 35$ pyrs, chiffre qu'on pouvait déduire à priori de celui de l'intensité de la source.

Exemple II. — On se propose de calculer l'éclairage d'un local fermé : on donne le coefficient moyen d'absorption des parois de la salle, qu'on calcule approximativement en formant les produits des surfaces de plafond, murailles et plancher par les absorptions correspondantes et en divisant la somme par la

surface totale. Soit 900 m cette surface et $a = 0,40$ le coefficient dont il s'agit ; on demande combien on devra employer de lampes à incandescence pour réaliser sur ces parois un éclairement moyen $i = 2$ pyrs par m².

Appelons e l'éclairement moyen correspondant et supposons encore le rayonnement égal à πi.

Par suite des renvois de lumière, le flux absorbé par les parois est en réalité seulement une fraction a du flux total qu'elles reçoivent et c'est le flux réfléchi égal à $(1 - a)$ du flux total qui produit l'éclat apparent i. On doit donc écrire les deux équations suivantes, dont la première exprime l'égalité de flux produit et absorbé

$$\Phi = a \, S \, e \, ; \qquad \frac{e(1-a)}{\pi} = i$$

ou, en éliminant e

$$\Phi = S \, i \, \pi \times \frac{a}{1-a}.$$

D'où l'on déduit $\Phi = 900 \times 2 \times \pi \times \frac{0,40}{0,60}$ lumens $= 3790$ lumens ; et comme le nombre de pyrs d'une lampe à incandescence est environ $\frac{1}{\pi_2}$ du flux on voit qu'il faudra 38 lampes de 10 pyrs. On en déterminera la répartition par d'autres considérations.

Exemple III.— On donne un projecteur dont le cercle d'ouverture a une surface de 1 m², qui est éclairé par un arc dont le cratère, supposé parfaitement dégagé, présente une surface de 1 cm² et un éclat de 20 000 pyrs par cm² ; la longueur focale est de 0,66 m, ce qui donne une divergence de 2 p. 100 de radian au faisceau. On demande de calculer les constantes du faisceau, en admettant pour l'appareil un coefficient d'absorption de 20 p. 100 et un coefficient d'effet optique de 0,50 et en supposant qu'il recueille 70 pour 100 du flux de la lampe.

L'intensité lumineuse du cratère dans la direction normale est 20 000 pyrs et le flux égale $\pi \times 20\,000 = 62\,831$ lumens ; le flux émis dans le faisceau qui sort de l'appareil est donc

$$0,70 \times 0,80 \times 62\,830 = 35\,200 \text{ lumens.}$$

A une distance l mètres, le diamètre du cercle éclairé est

$$(1,13 + 0,02\, l) \text{ m} ;$$

l'*éclairement moyen* de ce cercle s'obtient en divisant le flux par la suface ; c'est donc

$$E_{moy} = \frac{\pi (1,13 + 0,02\, l)^2}{35\,200} \text{ lux,}$$

et il varie en raison inverse de la distance à un point situé à 113 mètres en arrière du cercle de base du projecteur.

Toute différente est l'expression de l'éclairement maximum du cercle éclairé mesuré au centre de celui-ci ; on a établi ailleurs que cet éclairement est exprimé par la formule $E = \frac{\lambda S i}{l^2}$ où λ est le coefficient d'effet optique, S la surface active du miroir et i l'éclat du cratère placé au foyer. On trouvera donc que l'éclat maximum, à partir de la distance où le miroir paraît entièrement lumineux, varie en raison inverse du carré de la distance au projecteur lui-même, ce qui permet de lui attribuer une puissance lumineuse, à grande distance ayant pour valeur

$$I = \lambda S i = 0,80 \times 1 \times 2 \times 10^8 = 160 \text{ mégapyrs.}$$

Si l'on applique les formules précédentes, par exemple, à une distance de 1 kilomètre, on trouve :

Éclairement moyen	100 lux.
Éclairement maximum	160 lux.

En définitive on voit que les trois constantes qui définissent complètement un faisceau sont : le *flux*, la *puissance* lumineuse équivalente et la *divergence* du faisceau.

Tous les calculs donnés ici comme exemples eussent été à peu près impossibles sans la terminologie précise proposée.

DISCUSSION DU RAPPORT PRÉCÉDENT

D'après le programme des séances la discussion du rapport de M. Blondel sur les unités photométriques devait occuper la seconde partie de la séance du mercredi 5 août, dont la première partie était consacrée à la discussion du rapport du Dr Wietlisbach, de Berne, sur les pertubations téléphoniques dues aux courants intenses. Mais cette première partie de la séance n'ayant pas duré moins de trois heures, force a été, pour tenir compte de la fatigue des congressistes et des exigences de leurs estomacs, de réduire l'ordre du jour de la seconde partie, présidée par M. Hospitalier, à un exposé sommaire des principaux points du mémoire de M. Blondel, exposé qui est fait par M. Palaz avec une très grande clarté, et à la nomination d'une commission chargée de discuter les conclusions de ce mémoire.

Aprés plusieurs séances assez laborieuses, cette commission comprenant MM. von Hefner-Alteneck, président, Janet, rapporteur, Hospitalier, etc., adoptait les résolutions suivantes ;

1° Les grandeurs photométriques internationales ont comme base l'intensité lumineuse d'une source ponctiforme.

Elles sont résumées dans le tableau suivant

Grandeur	Nom de l'unité	Equation de définition
Intensité lumineuse	Bougie	$\mathfrak{J}$
Flux lumineux	Lumen	$\Phi = \mathfrak{J}\,\Omega$
Éclairement	$\text{Lux} = \frac{\text{Lumen}}{\text{mètrecarré}}$	$E = \frac{\Phi}{S}$
Éclat	Bougie par m²	$e = \frac{\mathfrak{J}}{S}$
Éclairage	Lumen-heure	$Q = \Phi T$

2° L'unité d'intensité lumineuse est la bougie.

3° Provisoirement la bougie pourra être représentée pour les besoins de l'industrie par l'intensité lumineuse horizontale de la lampe Hefner à condition de tenir compte des corrections nécessaires.

En comparant la première de ces résolutions de la commission aux conclusions du rapport de M. Blondel, on voit quelle ne diffère de celles-ci que par les points suivants :

1° La grandeur photométrique fondamentale est l'intensité lumineuse au lieu du flux lumineux ;

2° Le nom de l'unité d'intensité lumineuse est bougie au lieu de pyr, ce dernier paraissant trop difficile à faire accepter par le public ;

3° La grandeur représentée par le produit du flux par le temps est appelée éclairage au lieu de quantité de lumière, cette dernière dénomination ayant été jusqu'ici employée dans un autre sens.

Ces propositions sont présentées à la séance de clôture du Congrès par M. *von Hefner Alteneck*, président de la commission. Rendant un juste hommage aux travaux de M. Blondel, il propose tout d'abord d'envoyer à celui-ci un télégramme de félicitations pour les progrès qu'il a fait faire à la photométrie, proposition qui est adoptée par acclamation. Il passe ensuite à l'exposé des résolutions de la Commission et indique les raisons qui les ont motivées, particulièrement la dernière. A ce propos, il fait ressortir, avec modestie d'ailleurs, les avantages de l'étalon Hefner au point de vue de pratique et bien que lui-même trouve que cet étalon ne soit pas parfait, il insiste sur ce que, en préconisant son emploi provisoire, le Congrès rendra un grand service aux ingénieurs.

A la suite de cet exposé, une vive discussion s'engage.

M. *Mascart* déclare qu'il lui paraît impossible d'adopter les résolutions de la Commission qui auraient pour effet d'imposer comme unité internationale d'intensité la flamme d'une lampe à liquide, alors que dans les Congrès antérieurs où cette question a été discutée, il a été décidé de rejeter les flammes comme étalon photométrique. Il fait ressortir les difficultés que l'on éprouve à obtenir une flamme brûlant toujours dans les mêmes conditions surtout lorsqu'elle exige pour sa

production l'emploi d'une mèche trempant dans un liquide. Il ne s'oppose d'ailleurs nullement à ce qu'on prenne pour la pratique industrielle un étalon quelconque, mais il lui paraît absolument indispensable de bien spécifier la valeur de cet étalon industriel en unités Violle ; si l'on adopte la lampe Hefner, qui lui semble convenir parfaitement aux besoins industriels, du moins provisoirement, d'après ce qu'en disent tous les expérimentateurs qui s'en sont servi, il ne faut pas la considérer comme un étalon absolu mais la rapporter à l'unité Violle, où à la bougie décimale, définie comme étant la vingtième partie de cette dernière unité ; il rappelle que des expériences récentes ont montré que la lampe Hefner vaut 1,02 bougie décimale et insiste sur l'impossibilité de profiter de la petitesse de la fraction décimale de cette valeur pour adopter la lampe Hefner comme étalon, d'autres sources lumineuses, comme l'étalon Violle à l'acétylène, pouvant incessamment répondre aux besoins de la pratique aussi bien que la lampe Hefner, tout en satisfaisant mieux aux exigences scientifiques.

Répondant aux critiques de M. Mascart, M. *von Hefner* reconnaît que l'étalon Violle est scientifiquement meilleur que la lampe Hefner, mais il est absolument persuadé qu'au point de vue pratique et industriel cette dernière est préférable. Comme les mesures photométriques industrielles comportent une incertitude d'au moins 5 pour 100, il ne voit aucun inconvénient à confondre, au moins provisoirement, la lampe Hefner et la bougie décimale.

M. *Janet* déclare qu'il s'est opposé, comme membre de la Commission à la rédaction de la troisième résolution ; il propose la modification suivante : « La bougie décimale définie par les Congrès antérieurs sera provisoirement représentée, etc. ».

La discussion devient alors extrêmement vive ; M. *Mascart* approuve la proposition de M. Janet ; M. *Ferraris* l'approuve également, mais il lui paraît nécessaire de spéccifier les conditions d'emploi de la lampe Hefner ; M. *Palaz* répond que ces conditions ont été spécifiées ; M. *von Hefner* déclare qu'il ne peut l'accepter, l'étalon Violle étant, à son avis, beaucoup moins constant que la lampe Hefner, et, par suite, aucune comparaison n'étant possible entre les deux ; M. *Kœpsel* dit que dans des expériences à la Reichsanstalt sur du platine fondu par un courant électrique intense il a été impossible d'obtenir une intensité lumineuse uniforme sur des surfaces de 2 à 3 cm^2 et que, par conséquent, la réalisation de l'étalon Violle dans des conditions identiques lui paraît impossible.

Dans le but de mettre d'accord les partisans et les adversaires de l'étalon Violle M. *Mengarini* propose de diminuer la hauteur de la flamme de la lampe Hefner de manière à ramener son intensité à être exactement égale à celle de la bougie décimale et de nommer une commission chargée de rechercher les dimensions à donner alors à la lampe Hefner. Cette proposition est combattue par M. *von Hefner* à cause de la difficulté de modifier les dimensions de sa lampe, et de l'impossibilité de comparer sa lampe à l'étalon Violle qui, ainsi qu'il l'a déjà dit, n'est pas constant ; M. *Hartmann* combat également la proposition Mengarini, mais pour une autre raison : c'est que la commission nommée ne fît pas les expériences nécessaires, cas qui s'est présenté dans un Congrès antérieur.

La discussion menaçant de continuer sans donner lieu à des conclusions, M. *Palaz* insiste sur l'intérêt d'arriver à une entente, le marché des lampes étant international et leurs intensités évaluées en bougies diverses, souvent au détriment de l'acheteur.

M. *de Kowalski*, dans le but d'avancer la discussion, propose de voter sur les deux premières résolutions de la Commission. La résolution 1 est adoptée à la majorité des voix, les noms des unités étant réservés.

A propos des deux autres résolutions une discussion très animée s'engage à laquelle prennent part M. *Turettini*, *Hefner*, *Mascart*, etc., et d'où il résulte que les délégués allemands ont pour objet la suppression de l'éta-

lon Violle comme étalon international.

Finalement M. *Hospitalier* propose de remplacer dans les rédactions 2 et 3 le mot « bougie» par « bougie décimale ». Avec cette modification ces deux propositions sont adoptées à la majorité des voix, M. von Hefner et la plupart des congressistes allemands s'abstenant de prendre part au vote.

Restait à voter sur les noms des unités. *M. Kapp* tout en acceptant les noms proposés, demande que l'unité de surface soit la même, le mètre carré, aussi bien pour l'unité d'éclat que pour l'unité d'éclairement. Cette proposition est combattue par plusieurs membres, le centimètre convenant beaucoup mieux dans la pratique que le mètre carré pour l'évaluation de l'éclat.

Il est alors procédé au vote ; les noms proposés par la commission sont adoptés à la majorité des voix de sorte que, en résumé, la réduction des résolutions adoptées par le Congrès, après trois heures de discussion, ne diffère de celle des résolutions de la commission que par l'addition de « décimale » après le mot « bougie » dans les résolutions 2 et 3.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Le moteur synchrone, par Giov. Ossana (1)

On sait que l'on a beaucoup discuté sur la question de savoir si, dans une transmission de force motrice avec moteur synchrone, on doit donner aux générateurs et aux moteurs une self-induction petite ou, au contraire, considérable, afin d'éviter le calage des moteurs sous une charge excédant la normale. M. Kapp s'exprime ainsi dans son livre récemment paru sur la transmission de l'énergie.

« La réaction de l'induit dépend beaucoup de la construction des machines et peut souvent être très peu importante. Mais dans les transmissions de force il faut toujours donner aux machines une grande self-induction, afin d'éviter l'arrêt de l'installation sous l'effet d'une surcharge ; par conséquent, le nombre des tours de l'enroulement induit ne doit pas être trop petit et l'on obtient alors un grand nombre d'ampères-tours qui affaiblissent le champ. »

L'auteur a examiné de plus près l'effet de la self-induction sur la limite de stabilité d'une transmission de force.

Mais avant d'aborder ce thème, il donne une brève théorie de ces moteurs en se servant concurremment des méthodes analytique et graphique.

Théorie. — L'auteur admet que les coefficients de self-induction sont constants et qu'il n'intervient pas de réaction d'induit. Les symboles suivants sont employés dans les calculs :

E_1 f. é. m. de la génératrice ;

E_2 f. é. m. du moteur ;

E f. é. m. résultant de E_1 et E_2 ;

I intensité de courant ;

φ différence de phases entre E et I ;

r_1...L_1 résistance et coefficient de self de la génératrice ;

r_2...L_2 résistance et coefficient de self de la ligne et du moteur ;

$\omega = 2 n \pi$ vitesse angulaire ;

$r_1 + r_2 = r$;

$L_1 + L_2 = L$;

$\rho = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$ impédance ;

$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{r}$;

P' puissance électrique fournie par la génératrice ;

P puissance électrique recueillie par le moteur ;

$\eta = \frac{P}{P'}$ rendement électrique.

Considérons maintenant la figure 1, dans laquelle nous faisons $\overline{OA} = E_1$, et admettons que ce vecteur, ainsi que tous les autres d'ailleurs, tourne avec la vitesse angulaire ω dans le sens des aiguilles d'une montre. Le moteur est intercalé, dans le circuit de la génératrice

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 14 mai 1896.

quand la f. é. m. qu'il développe est E_2, de même phase que celle de la génératrice, mais de sens opposé. En général, le moteur retardera un peu jusqu'à ce que la puissance qu'il absorbe soit précisément celle nécessaire à l'effort mécanique.

Soit $\overline{OB} = E_2$ en grandeur et en direction $\overline{OC}$ représente alors la f. é. m. résultante E produisant le courant I décalé en arrière par rapport à $\overline{OC}$ de l'angle φ et représenté par le vecteur $\overline{OD}$.

Si nous abaissons de C sur $\overline{OD}$ une perpendiculaire $\overline{CE}$ nous arrivons aux deux relations suivante :

$$\overline{EC} = I \omega L$$
$$\overline{OE} = I r$$
$$\overline{OC} = E = I \rho$$

et nous avons ; d'une part :

$$P' = I E_1 \cos(I ; E_1) = I \overline{OD}$$
$$P' = \frac{\overline{OE}}{r} \overline{OD},$$

d'autre part :

$$P = I E_2 \cos(I ; E_2) = I \overline{DE}$$
$$P = \frac{\overline{OE}}{r} \overline{DE}.$$

La figure 1 nous donne encore :

$$\overline{OE} = E \cos\varphi \qquad \text{et} \qquad \frac{E}{E_2} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$
$$\overline{OE} = E_2 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \cos\varphi$$
$$\overline{OD} = E_1 \cos(\varphi - \beta)$$
$$\overline{OD} \times \overline{OE} = E_1 E_2 \cos(\varphi - \beta) \cos\varphi \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}.$$

Cette dernière équation combinée avec la relation :

$$\sin\alpha \operatorname{Ag}\beta = \frac{E_1}{E_2} - \cos\alpha$$

tirée des propriétés géométriques de la figure 1, donne finalement

$$\overline{OD} \times \overline{OE} = E_1 \cos\varphi \left[E_1 \cos\varphi - E_2 \cos(\varphi + \alpha)\right].$$

Cette valeur introduite dans l'expression de P' conduit à :

$$P' = \frac{1}{r}\left[E_1^2 \cos^2\varphi - E_1 E_2 \cos\varphi \cos(\varphi + \alpha)\right] \quad (1)$$

En désignant par p la chaleur développée par l'effet Joule, cette quantité est donnée par

$$p = I^2 r = \frac{\overline{OE}^2}{r} = \frac{E^2}{r} \cos^2\varphi$$
$$p = \frac{\cos^2\varphi}{\omega}\left[E_1^2 + E_2^2 - 2 E_1 E_2 \cos\alpha\right].$$

Enfin, nous arrivons à l'expression de la puissance absorbée par le moteur, par la relation :

$$P = P' - p$$
$$P = \frac{1}{r}\left[E_1 E_2 \cos\varphi \cos(\varphi - \alpha) - E_2^2 \cos^2\varphi\right]. \quad (2)$$
$$\eta = \frac{P}{P'} = \frac{E^2 E_1 \cos(\varphi - \alpha) - E_2 \cos\varphi}{E_1 E_1 \cos\varphi - E_2 \cos(\varphi + \alpha)} \quad (3)$$
$$I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}} = \sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2 - 2 E_1 E_2 \cos\alpha}{r^2 + \omega^2 L^2}}. \quad (4)$$

Les équations (1) et (2) peuvent aussi s'écrire :

$$P' = I E_1 \cos(I ; E_1), \quad (1')$$
$$P = I E_2 \cos(I ; E_2). \quad (2')$$

Quand on augmente la charge du moteur, E_2 retarde de plus en plus, l'angle α augmente, le point C se déplace jusqu'en C', point situé sur un cercle décrit autour de A avec E_2 pour rayon. Comme l'angle β croît également, le vecteur du courant $\overline{OD}$ se rapproche du vecteur de la f. é. m. E_1. et en abaissant du nouveau point C' une perpendiculaire sur $\overline{OD'}$, nous obtenons le point E'.

Or, on peut démontrer que le lieu géométrique de tous les points E est un cercle dont le centre se trouve sur une droite $\overline{OP}$ faisant avec E_1 un angle φ. Cette droite coupe le cercle décrit sur E_1 comme diamètre au point P, centre du cercle cherché. En faisant $\overline{AM} = E_2$ et en abaissant de M sur $\overline{OP}$ la perpendiculaire $\overline{MQ}$, le rayon cherché est $\overline{PQ}$.

Les développements précédents avaient déjà été indiqués par Blakesley ; mais il était utile de les rappeler pour la facilité de la suite de l'exposé.

RENDEMENT MAXIMUM.

Le problème se pose ainsi : il s'agit de transmettre P_0 watts avec une f. é. m. E_1 donnée et nous supposons connues la résistance r et la réactance ωL.

Notre équation (2) pour P_0 contient encore deux inconnues E_2 et α ; si nous choisissons une de ces grandeurs, la seconde pourra être calculée, et notre choix sera guidé par cette condition, que le rendemement électrique soit maximum. C'est ce qui a évidemment lieu, si la puissance P_0 est transmise avec la plus petite intensité de courant, les pertes étant alors minima.

L'équation (2') s'écrit :

$$P_0 = I (E_1 \cos (I_1 ; E_1) - I r).$$

Fig. 1

I ne devient minimum que si le facteur entre parenthèses est maximum; c'est à dire lorsque $\cos (I_1 ; E_1) = 1$.

Alors :

$$P_0 = I_{min} (E_1 - I_{min} r). \qquad (5)$$

C'est la même équation que l'on obtient pour un transport de force avec courant continu. On peut en conclure que la transmission de force avec moteurs synchrones permet d'arriver au même rendement qu'avec le courant continu. Il résulte de l'équation (5) que

$$I_{min} = \frac{1}{2 w} \left[E_1 - \sqrt{E_1^2 - 4 r P_0}\right] \qquad (6)$$

Ce cas est représenté par la figure 2 qui permet de déterminer facilement E_2

$$E_2 = \sqrt{(E_1 - I_{min} r)^2 + w^2 L^2 I_{min}^2}. \qquad (7)$$

Il nous est maintenant possible de calculer I_{min} à l'aide de l'équation (6) et de tirer de l'équation (7) la valeur E_2 de la f. é. m. que doit donner le moteur, afin que notre puissance normale P_0 soit transmise avec le rendement maximum.

STABILITÉ.

Nous admettrons dans ce qui suit que notre moteur développe la f. é. m. E_2 pour laquelle le rendement est maximum, et nous nous demandons quelle surcharge le moteur peut supporter sans s'arrêter. A cet effet,

Fig. 2.

nous considérons l'équation (2) :

$$P = \frac{E_2 \cos \varphi}{r} \left[E_1 \cos(\varphi - \alpha) - E_2 \cos \varphi\right].$$

Nous voyons que P est d'autant plus grand que $\cos (\varphi - \alpha)$ se rapproche plus de l'unité, et que le maximum est atteint pour $\cos (\varphi - \alpha) = 1$ ou $\varphi = \alpha$. Alors :

$$P_{max} = \frac{E_2 \cos \varphi}{r} (E_1 - E_2 \cos \varphi). \qquad (8)$$

Or, la puissance normale est :

$$P_0 = I_{min} [E_1 - I_{min} r],$$

et il devient évident que le fonctionnement de l'installation sera d'autant plus sûr, que le rapport $\frac{P_{max}}{P_0}$ sera plus grand.

Désignons ce rapport par σ, coefficient de stabilité de la transmission. Nous avons :

$$\sigma = \frac{P_{max}}{P_0} = \frac{E_2 \cos \varphi (E_1 - E_2 \cos \varphi)}{r I_{min} (E_1 - I_{min} r)}.$$

Faisons remarquer que E_1, E_2, I_{min} et r

sont à considérer comme des constantes, et examinons la relation de σ avec l'inductance ωL. A cet effet, nous introduisons E_2 tiré de l'équation (7) et nous obtenons :

$$\sigma = \frac{E_1 \cos\varphi \sqrt{(E_1 - I_{min}\, r)^2 + \omega^2 L^2 I_{min}^2} - \cos^2\varphi \left[(E_1 - I_{min}\, r)^2 + \omega^2 L^2 I_{min}^2\right]}{r\, I_{min}(E_1 - I_{min}\, r)},$$

équation qui, après quelques transformations, peut s'écrire :

$$\sigma = \frac{r}{\frac{E_1}{I_{min}} - r} \sqrt{\frac{\left(\frac{E_1}{I_{min}} - r\right)^2 + \omega^2 L^2}{r^2 + \omega^2 L^2}} \left[\frac{E_1}{r\, I_{min}} - \sqrt{\frac{\left(\frac{E_1}{I_{min}} - r\right)^2 + \omega^2 L^2}{r^2 + \omega^2 L^2}}\right] \qquad (9)$$

A l'aide de cette équation, nous pouvons nous rendre compte jusqu'à quel point la stabilité dépend de la self-induction. Les valeurs de E_1 et de r pour la ligne (la résistance des machines est en général négligeable devant celle de la ligne) étant données par des considérations économiques, il nous reste assez de jeu dans la construction des machines pour nous permettre de disposer de l'inductance ωL de façon à nous rapprocher du maximum de stabilité.

Si, dans la dernière équation, nous désignons les racines par x, notre équation prend la forme

$$\sigma = b\, x\, (c - x).$$

On sait qu'une expression de cette forme devient maximum pour $x = \frac{c}{2}$, c'est à dire :

$$\sigma_{max} = b\left(\frac{c}{2}\right)^2 = \frac{r}{\frac{I_{min}}{E_1} - r}\left[\frac{E_1}{2\, r\, I_{min}}\right]^2,$$

avec la condition :

$$\sigma_{max} = \left(\frac{E_1}{I_{min}}\right)^2 \frac{1}{4\, r\left(\frac{E_1}{I_{min}} - r\right)} \qquad (10)$$

$$\frac{1}{2}\,\frac{E_1}{r\, I_{min}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{E_1}{I_{min}} - r\right)^2 + \omega^2 L^2}{r^2 + \omega^2 L^2}}.$$

En résumé, nous voyons que l'inductance doit satisfaire à la relation suivante :

$$\omega L = r\sqrt{\frac{4\,(E_1 - I_{min}\, r)^2 - E_1^2}{E_1^2 - 4\, r^2 I_{min}^2}} \qquad (11)$$

EXEMPLE NUMÉRIQUE.

M. G. Kapp donne dans son ouvrage sur la transmission électrique de l'énergie l'exemple suivant .

$$P_0 = 100 \text{ kw}, \quad E_1 = 1\,100 \text{ volts}, \quad r = 1 \text{ ohm}.$$

Pour le rendement maximum, l'équation (6) nous indique que l'on doit employer

$$I_{min} = 100 \text{ ampères}.$$

Comme on le voit, I_{min} est indépendant de l'inductance. Si nous pouvons faire varier

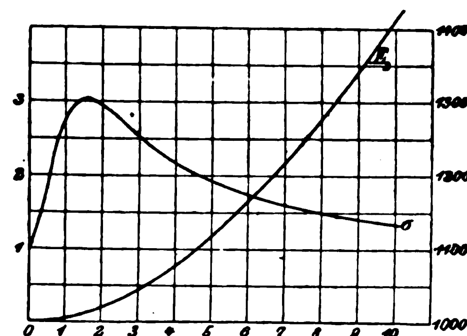


Fig. 3.

celle-ci entre de larges limites, par exemple, entre 0 et 10, il est possible, pour chacune de ces valeurs de ωL, de transmettre la puissance de 100 kilowatts ; il est seulement nécessaire, pour obtenir toujours le maximum de rendement de modifier convenablement E_2.

A l'aide de l'équation (7), calculons pour chaque valeur de ωL la valeur correspondante de E_2, et à l'aide de l'équation (9) le coefficient de stabilité σ ; nous obtenons ainsi le tableau suivant, et il convient de remarquer que le rendement est constant et maximum :

ωL	E_2	σ
0	1 000	1
0,5	1 002	1,82
1	1 005	2,77
1,544	1 010	3,03
2	1 020	2,94
3	1 044	2,54
4	1 077	2,19
5	1 118	1,87
6	1 166	1,74
8	1 280	1 50
10	1 414	1,35

Les équations (10) et (11) nous fournissent alors le coefficient de stabilité maximum et le ωL correspondant. On voit qu'il est utile de construire génératrice et moteur de façon telle que leur inductance totale se rapproche le plus possible de 1,544, valeur correspondant au maximum de stabilité.

La figure 3 donne les courbes de σ et de E_2 en fonction de ωL.

Moyens d'augmenter la stabilité.

Si nous avons affaire à une machine déjà existante, nous ne pouvons plus changer ωL

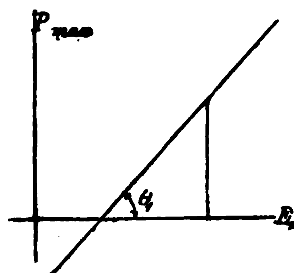


Fig. 4.

dans le but d'augmenter la stabilité. Il faut recourir à d'autres moyens et, à cet effet, considérons encore l'équation (8) donnant la puissance maxima

$$P_{max} = \frac{E_2 \cos \varphi}{r} (E_1 - E_2 \cos \varphi).$$

Nous avons supposé $\cos \varphi$ et r constants, et pour augmenter P_{max}, nous devons modifier E_1 ou E_2.

Prenons d'abord le cas où E_2 serait invariable et où E_1 seul pourrait être modifié. En portant P_{max} en fonction de E_1, nous obtenons une droite (fig. 4) avec le coefficient angulaire θ_1 déterminé par $\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{E_2 \cos \varphi}{r}$. Il y a donc proportionnalité entre P_{max} et E_1, ce qui indique qu'augmenter E_1 est un bon moyen de faire croître P_{max}.

Considérons maintenant l'autre alternative. E_1 constant, E_2 modifiable, et portons cette fois P_{max} en fonction de E_2. La courbe obtenue est une parabole. P_{max} passe par un maximum pour $E_2 \cos \varphi = \frac{E_1}{2}$.

La loi d'accroissement de P_{max} est caractérisée par

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{d P_{max}}{d E_2} = \frac{E_1 \cos \varphi}{r} - \frac{2 E_2 \cos^2 \varphi}{r},$$

expression qui devient maxima pour $E_2 = 0$, auquel cas on a (fig. 5)

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{E_1 \cos \varphi}{r}.$$

Si l'on compare cette équation pour θ_2 avec celle obtenue précédemment pour θ_1, et si l'on considère que θ est beaucoup plus petit que θ_2 et θ_1 pour toutes les valeurs pratiques de E_2

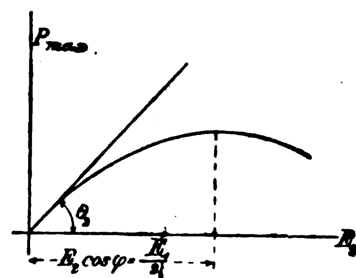


Fig. 5.

on arrive à la conclusion qu'une petite augmentation de E_1 contribuera bien plus à faire croître P_{max}, qu'une augmentation de E_2. L'unique condition, c'est que

$$E_2 \cos \varphi < \frac{E_1}{2}.$$

En résumé, pour augmenter la stabilité du transport de force, on a avantage à élever la f. é. m. de la génératrice plutôt que celle du moteur. Mais de ce fait nous diminuons le rendement de la transmission, parce que le courant n'est plus en concordance de phase

avec E_1. Si donc nous voulons en même temps conserver le rendement maximum, il est nécessaire de rétablir la concordance de phase entre E_1 et I en augmentant E_2, ce qui a lieu dans les conditions suivantes.

Une augmentation de E_1 entraîne une diminution de I_{min} (E_1 et I_{min} ayant même phase), il en résulte, comme le montre la figure 6, que E_2 augmente également, ce qui ne peut être que favorable, puisque P_{max} augmente avec E_2.

Dans tout ce qui précède on n'a pas tenu compte de la réaction d'induit.

Exemple numérique.

Nous prendrons encore le moteur de 100 kilowatts pour lequel les calculs précédents

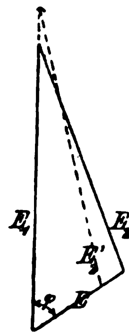


Fig. 6.

nous avaient indiqué $\omega L = 4$, $r = 1$; les autres grandeurs se calculent comme suit :

L'équation (6) donne I_{min}
» (7) » E_2
» (9) » σ

et nous déterminons finalement η par la relation

$$\eta = \frac{100\,000}{100\,000 + I_{min}^2 r};$$

nous obtenons ainsi les chiffres du tableau ci-dessous :

E_1 volts	I_{min} ampères	E^2 volts	σ	η %
632,5	316,25	1 303	1,000	50
700	200	943	1,076	71,4
800	155	894	1,265	80,6
900	130	929	1,518	85,5
1 000	112,5	995	1,830	88,7
1 100	100	1 077	2,19	91,0
1 150	95	1 121	2,384	91,7
1 200	90	1 167	2,597	92,5
1 300	82	1 261	3,04	93,7
1 500	70	1 456	4,05	95,3

La figure 7 est la représentation graphique de ce tableau :

Réaction d'induit. — Jusqu'à présent nous avons parlé des f. é. m. de la génératrice et du moteur sans considérer que la réaction d'induit peut très considérablement modifier ces grandeurs. Kapp dit dans son ouvrage déjà cité :

« Quand le courant est décalé en arrière par rapport à la f. é. m., il affaiblit le champ de la génératrice et renforce celui du moteur.

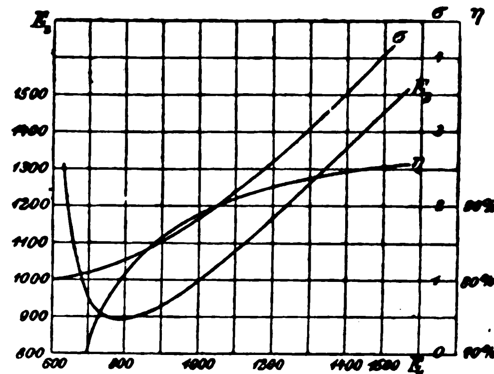


Fig. 7.

Le contraire a lieu lorsque le courant est en avance sur la f. é. m. »

Nos équations antérieures continuent naturellement à être applicables, si nous y donnons à E_1 et E_2 les valeurs résultant de la réaction d'induit.

Nous admettons comme toujours que l'excitation du moteur soit telle que le courant soit minimum ; dans ce cas la f. é. m. de la génératrice possède la même phase que le courant, c'est à dire que ce dernier n'affaiblit ni ne renforce le champ de la génératrice ; mais il affaiblit, si peu que ce soit, celui du moteur, parce qu'il devance la f. contre-é. m. E_2. Nous devons donc exciter le moteur un peu plus qu'il ne serait nécessaire s'il n'y avait pas de réaction d'induit. Nous allons

étudier cet effet à l'aide de votre exemple numérique dans lequel :

$$E_1 = 1\,100 \quad E_2 = 1\,077 \quad P_o = 100\,000,$$
$$I_{min} = 100 \quad r = 1 \quad \omega L = 4.$$

Nous portons ces valeurs dans la figure 8 ; et pour examiner l'effet de la réaction d'induit sur E_1 et E_2 à mesure que la charge croît, nous traçons le cercle formant le lien géométrique de tous les points E.

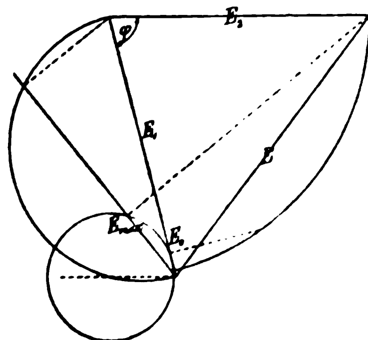


Fig 8.

Quand la charge augmente, le point E_o se déplace sur ce cercle à gauche, le courant est décalé en arrière, par

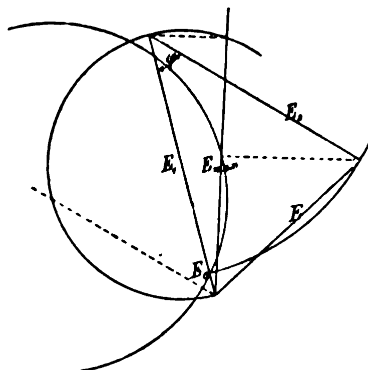


Fig. 9.

rapport à E_1 et affaiblit le champ de la génératrice, et nous n'avons plus E_1 pour f. é. m. mais $(E_1 - e_1)$. Mais par rapport à la f. é. m. E_2 du moteur, le courant et en avance, de sorte que le champ du moteur est également affaibli, et au lieu de E_2 nous obtenons $(E_2 - e_2)$. Nous avons alors la relation.

$$P_{max} = \frac{(E_2 - e_2)\cos\varphi}{r}\left[(E_1 - e_1) - (E_2 - e_2)\cos\varphi\right].$$

P_{max} est donc considérablement réduit, ainsi que la sécurité de la transmission. La grandeur de cette réduction de P_{max} dépend de l'excitation et de la construction des machines; en général, la réaction d'induit sera d'autant plus grande, que la réaction ωL sera plus considérable. Pour diminuer cette réaction préjudicieuse, nous devons chercher à amoindrir la réactance, ce qui exerce d'ailleurs une influence favorable sur le coefficient de stabilité σ, qui croît jusqu'à $\omega L = 1{,}544$, comme nous l'avons vu plus haut. Mieux encore, dans ce cas, la réaction d'induit peut même devenir avantageuse.

Pour nous en rendre compte, admettons que $\omega L = 2$ au lieu de 4 et portons ensuite

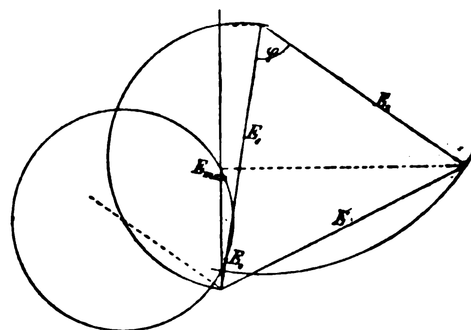


Fig. 10.

dans la figure 9 les grandeurs suivantes :

$$E_1 = 1\,100, I_{min} = 100, E_2 = 1\,020, \omega L = 2, r = 1.$$

A la charge maxima, le courant ne présentera plus, par rapport à E_1, un décalage en arrière aussi grand que précédemment, et la réaction d'induit sera par conséquent moindre pour deux raisons :

En premier lieu, nous avons moins de tours de fils, sur les deux machines, de sorte que les ampères-tours démagnétisants seront moins nombreux ; en second lieu, le courant est moins décalé, et réagit donc dans une plus faible mesure. En même temps, le coefficient théorique de stabilité s'est élevé de 2,19 à 2,93.

Si nous pouvons réduire davantage la réactance, et faire par exemple $\omega L = 1$, nous obtiendrons (fig. 10) :

$$E_1 = 1\,100, I_{min} = 100, E_2 = 1\,005, \omega L = 1, r = 1.$$

Dans ce cas l'effet d'une augmentation de charge serait de faire décaler le courant en

avant sur la f. é. m. de la génératrice ; E_1 serait augmenté et la stabilité accrue. En même temps, E_2 est affaibli par le courant ; mais dans ce cas, cet effet n'entraîne plus une diminution de P_{max} mais une augmentation ; car, si nous introduisons dans notre équation (8) :

$$\cos\varphi = \cos 45° = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

nous obtenons ;

$$P_{max} = \frac{E_2}{r\sqrt{2}}\left(E_1 - \frac{E_2}{\sqrt{2}}\right),$$

il résulte que

$$E_2 \cos\varphi = \frac{E_2}{\sqrt{2}} > \frac{E_1}{2}.$$

Ainsi que nous l'avions montré à l'aide de la figure 5, une diminution de E_2 produit dans ces conditions une augmentation de P_{max}. E_1 est donc renforcé, E_2 affaibli, et ces deux effets contribuent à améliorer la stabilité.

A. H.

Sur l'emploi de l'électricité à bord des navires, par H. F. Eickenradt.

Dans une conférence faite récemment à Londres, M. F. Eickenradt, inspecteur-mécanicien exposait les avantages de l'emploi de l'électricité à bord des navires ; en voici le résumé.

L'emploi de l'électricité pour actionner les machines auxiliaires a pris depuis peu, une extension considérable et tout constructeur de navire doit maintenant étudier au point de vue technique les meilleures dispositions à adopter en prévision des installations électriques.

L'emploi des moteurs électriques offre, dans la majorité des cas, de notables avantages sur celui des moteurs à vapeur pour le fonctionnement des machines. Les nombreuses canalisations de vapeur parcourant le navire en tous sens, sont coûteuses, encombrantes et très sujettes aux avaries dont la plus infime nécessite un temps considérable à réparer ; tous ces inconvénients sont évités avec les conducteurs des électro-moteurs, les câbles bien isolés et posés dans de bonnes conditions n'offrant aucun danger et ne demandant qu'un entretien très peu coûteux. Les moteurs à vapeur eux-mêmes sont incommodes dans n'importe quelle partie du navire où ils se trouvent et outre les dommages que pourrait causer un accident survenant pendant leur fonctionnement, ils ont l'inconvénient de nécessiter un jeu d'appareils assez compliqué. Les moteurs électriques au contraire tout en offrant plus de sécurité peuvent fonctionner au moyen d'appareils dont le maniement est très simple.

Jusqu'ici l'emploi des moteurs électrique à bord des navires n'est pas assez répandu pour que le personnel mécanien soit bien familiarisé avec leur fonctionnement, et la plupart d'entre eux se trouveraient embarrassés devant une cause anormale provoquant l'arrêt subit du moteur. Pour cette raison, les électriciens doivent s'efforcer de simplifier autant que possible les installations électriques et de disposer les appareils de façon à éviter les accidents qui pourraient résulter de l'imprudence d'un ouvrier peu au courant de l'électricité. Un moteur électrique une fois installé ne doit nécessiter qu'une surveillance relativement faible, celle de son parfait isolement avec les plaques de fondation et le bon fonctionnement des appareils graisseurs.

Un avantage considérable, en marine, des moteurs électriques est que leur manœuvre peut s'opérer d'un seul point central, ce qui permet de restreindre le personnel.

Eclairage. — L'éclairage électrique des navires qui avait, au début, rencontré de nombreux adversaires est maintenant adopté d'une façon presque générale ; les plus petits navires à vapeur, dont l'éclairage ne comporte qu'un très petit nombre de lampes, ont leurs dynamos et leurs installations de distribution. Ce mode d'éclairage n'offre d'ailleurs aucun danger tant que ces installations sont faites par des personnes compétentes et dans les conditions voulues de façon à écarter toute crainte d'incendie. L'électricité est aussi préférable à tout autre mode d'éclairage au point de vue sanitaire.

Ventilation. — La ventilation de toutes les parties habitées ou non, d'un navire est aussi une question très importante. En raison de l'impossibilité d'assurer, avec le genre de construction actuelle, une bonne ventilation naturelle, les constructeurs ont dû l'effectuer au moyen des ventilateurs actionnés par des moteurs à vapeur. Le plus souvent la position de ces moteurs en rend l'accès très difficile pour la surveillance. La place d'un moteur électrique est là toute trouvée, et l'on a pu se rendre compte des avantages de cette substitution par les nombreuses applications de ce genre en service depuis bon nombre d'années. Le genre de moteur généralement employé pour actionner les ventilateurs est de construction très simple, n'exige aucun appareillage auxiliaire compliqué et en outre, peut fonctionner sans aucune surveillance.

Il est possible d'éviter les circuits séparés pour des ventilateurs de faibles dimensions en intercalant leurs moteurs dans le circuit d'éclairage. Mais pour ceux des ventilateurs dont les aubes atteignent un diamètre de 80 à 120 cm et dont le fonctionnement nécessite une puissance de 2 000 à 4 000 watts, il est préférable d'employer des circuits séparés.

On peut admettre que les ventilateurs servant au tirage artificiel des foyers, absorbent en moyenne une puissance de 15 à 20 000 watts et ceux de la salle des machines de 6 à 10 000 watts ; dans les deux cas les moteurs électriques sont préférables au moteur à vapeur, car sans parler de la chaleur que ces derniers développent là où elle est le moins nécessaire, une surveillance continuelle en est indispensable. En effet, dans les chaufferies, les moteurs à vapeur sont exposés aux poussières de charbon qui entraînent un surcroît considérable d'entretien. Le moteur électrique ne sera pas exempt de la poussière dira-t-on, mais à cela il est facile de porter remède en employant des ventilateurs centrifuges et en plaçant son moteur à l'intérieur même du tuyau de prise d'air où il se trouvera ainsi protégé.

Chauffage électrique. — Ce mode de chauffage pourrait en certains cas remplacer les nombreuses canalisations de vapeur affectées à ce service. La disposition des appareils de chauffage serait étudiée de façon à utiliser les circuits d'éclairage pour éviter de grands frais de canalisation. Le désavantage d'une installation de ce genre consiste dans la nécessité d'employer des machines génératrices de capacité considérable dont une grande partie de la production ne pourrait être utilisée lorsque le chauffage ne serait plus nécessaire.

Si on admet qu'un appareil de chauffage à la vapeur, ayant une surface de chauffe totale de 75 mètres carrés, produit à l'heure 60 000 calories, un appareil de chauffage électrique d'une pareille puissance nécessitera une génératrice d'une capacité de 75 000 watts environ, par conséquent, un moteur à vapeur d'environ 100 chevaux. L'installation d'un groupe semblable, affecté seulement à cet usage, est peu inadmissible ; mais il serait possible d'utiliser l'énergie électrique sous une autre forme, par exemple pour des moteurs ne fonctionnant que rarement et à intervalles très courts, tels que pour hisser les embarcations, actionner des cabestans, etc. Or pendant que ces appareils sont en repos, le courant du groupe générateur pourrait être avantageusement employé au chauffage.

Il faut néanmoins admettre que, jusqu'à présent, le chauffage électrique des navires ne peut être pris en considération, mais il pourrait présenter de réels avantages dans les endroits où l'installation des appareils de chauffage à la vapeur présente des difficultés et où la canalisation de l'éclairage permet d'utiliser le courant dans les appareils de chauffage électrique. Cette question a besoin d'être étudiée au point de vue comparatif, et les éléments d'une installation de chauffage électrique à bord d'un bâtiment soigneusement calculés de façon à obtenir des résultats satisfaisants au point de vue du rendement calorifique et de la sécurité.

Treuils électriques. — L'emploi des moteurs électriques pour actionner les treuils et les

grues de déchargement est déjà très répandu ; on en construit de toutes puissances, depuis 2000 à 3000 kw jusqu'à 10 à 15000. Une installation de ce genre qui demanderait une puissance de 90 à 100 chevaux est facilement réalisable dans les navires où des moteurs électriques sont déjà employés au service des machines auxiliaires. Il suffit alors, pour obtenir l'énergie voulue, de supprimer momentanément les connexions des machines auxiliaires, telles que ventilateurs, pompes, etc.

Monte-munitions et ascenseurs électriques. — Il n'est pas de navire de guerre récemment construit qui ne possède un grand nombre de moteurs électriques adaptés au fonctionnement des monte-munitions et ascenseurs dont les bâtiments sont pourvus pour subvenir aux besoins de l'armement actuel.

Le petit volume et la facile adaptation des moteurs électriques les fait préférer à tout autre moteur pour actionner les cages des monte-munitions, dont les moteurs peuvent alors être commandés d'un point quelconque du navire. En outre, chaque installation de ce genre peut être munie d'un frein électrique afin d'en assurer la sécurité.

Quand à la manœuvre des tourelles, l'auteur est d'avis que l'énergie hydraulique sera avantageusement remplacée par l'énergie électrique. Les applications qui ont déjà été faites ont donné d'excellents résultats.

Gouvernails électriques. — La manœuvre électrique des gouvernails n'a encore pu être réalisée complètement et pratiquement, en raison des difficultés résultant des inégalités d'effort auxquels sont soumises les transmissions et les gouvernails eux-mêmes. On s'est borné jusqu'à présent à se servir des moteurs électriques pour commander les robinets d'admission de vapeur dans le moteur employé à la manœuvre du gouvernail.

Conclusion. — Dans sa conclusion l'auteur aborde une question importante pour les installations électriques sur les bâtiments, celle du choix du courant à employer, soit continu, soit alternatif. Jusqu'à présent le courant continu est le seul employé et sert à la fois aux moteurs, à l'éclairage et aux projecteurs. On ne peut songer, pour ces derniers, à employer des courants alternatifs sous peine de diminuer le rendement des projecteurs de 40 pour 100. Or comme à bord des navires de guerre l'énergie consommée dans ces appareils représente environ 20000 à 70000 watts, il est donc préférable d'employer le courant continu. Ce dernier a le fâcheux inconvénient d'influer sur les aiguilles des compas ; toutefois on peut prévenir de semblables accidents par une installation étudiée des circuits et le soigneux isolement des génératrices.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Influence de la lumière sur la forme que prend la décharge d'une machine électrostatique, par J. Elster et H. Geitel (1).

Sur le pôle négatif d'une machine de Holtz on place un disque de zinc amalgamé ; le pôle positif est formé d'une sphère : ces deux pôles sont suffisamment éloignés l'un de l'autre pour que la décharge passe sous la forme d'étincelles en zig-zag, ou d'aigrettes accompagnées de grésillement, quand on enlève les condensateurs. Quand on approche du disque un ruban de magnésium enflammé, dès que la lumière frappe le disque, les étincelles ou le grésillement cessent. Ce phénomène paraît paradoxal puisqu'ordinairement l'illumination de la cathode facilite la décharge.

L'expérience peut prendre une autre forme, qui consiste à mettre un second interrupteur à étincelles en dérivation sur le premier et réglé de telle manière que dans l'obscurité la décharge préfère le premier : dès que la cathode est illuminée, au contraire, la décharge franchit le second intervalle.

On peut supposer que l'illumination de la

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 401.

cathode rend la décharge continue et silencieuse, ou que les alternances deviennent trop rapides ou d'amplitude trop faible pour produire un son perceptible. Un téléphone intercalé dans le circuit reste silencieux pendant toute la durée de l'illumination et rend un son intense quand l'illumination cesse et que l'aigrette réapparaît. Mais ceci ne prouve pas que la décharge ne soit pas alternative avec une très grande fréquence. Pour découvrir des alternances de période très courte, les auteurs ont construit un petit appareil spécial. Uu tube en ébonite, qui peut être enfilé sur les conducteurs polaires de la machine, est garni à ses deux extrémités de deux anneaux de cuivre : à ces deux anneaux sont soudées les extrémités d'un fil de cuivre, enroulé en quelques centaines de spires sur le tube ; en dérivation sur cette bobine, se trouve une lame de verre argenté, sur laquelle un trait de diamant a séparé l'argenture en deux parties (comme dans les résonateurs de Righi) : tant que la décharge est continue, elle passe par le fil de cuivre, mais quand elle est alternative, à cause de l'induction propre de la spirale, la décharge traverse sous forme d'étincelle le trait de diamant. Or, tant que dure l'illumination, on observe aucune étincelle sur le verre argenté. La décharge pendant l'illumination est donc continue ou bien de trop courte période pour que les alternances soient décélées par cet appareil.

Du reste, l'illumination de la cathode modifie également la nature de la décharge au voisinage de l'anode. L'étincelle ou l'aigrette se transforment en une couche de lueur violette, l'observation est plus facile avec une flamme de sulfure de carbone alimentée avec de l'oxygène, qui est aussi riche en rayons chimique et moins éblouissante que celle du magnésium. Mais il est à remarquer que cette modification a lieu seulement quand les molécules gazeuses venues de la cathode et électrisées négativement frappent l'anode elle-même. Si celle-ci est recouverte d'une lame de verre perforée, on voit réapparaître aussitôt l'aigrette et l'étincelle.

Des mesures effectuées avec la bouteille de Lane prouvent que la décharge par lueurs, se produisant pendant l'illumination de la cathode, transporte moins d'électricité que la décharge par aigrette, se produisant dans l'obscurité. Reste à savoir si cette différence entre les deux espèces de décharges dépend seulement de l'illumination. Il est difficile de décider car sans changer les électrodes et sans employer la lumière, on ne peut passer à volonté d'une espèce à l'autre. L'affirmative est cependant plus probable ; car la lumière n'a aucune action quand l'anode est formée d'une pointe assez fine pour que la décharge par lueurs se produise même dans l'obscurité, ce fait écarte l'hypothèse d'une augmentation de résistance de l'air causée par l'illumination.

M. L.

Mesure des forces électromotrices dans les éléments de Colley, par Th. des Coudres (¹).

En imprimant à des électrolytes convenablement choisis un mouvement rapide, on obtient des f. é. m. dont la production est attribuée au déplacement des ions. Les vérifications qualitatives ne présentent pas de difficultés, mais les déterminations quantitatives sont rendues malaisées par diverses causes perturbatrices, en particulier la distribution irrégulière de la température. Ces perturbations qui rendent les mesures impossibles, quand on veut utiliser la force centrifuge, peuvent être éliminées d'une manière suffisante quand on utilise la pesanteur.

L'électrolyte le plus avantageux pour ces expériences est l'iodure de cadmium. Il est contenu dans un tube de verre (long de 110 cm large de 2) portant à ses extrémités des tubulures, dans lesquelles sont scellées des électrodes, qui intérieurement sont recouvertes par de l'amalgame de cadmium. Le liquide introduit dans le tube est privé d'air par une ébullition prolongée pendant une demi-heure sous pression réduite ; le tube est ensuite scellé à la lampe et enfermé dans une caisse remplie d'ouate. Les deux électrodes sont re-

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 232.

liées par des tubes de verre et de caoutchouc remplis de mercure à un galvanomètre de Carpentier. Un commutateur *c* formé par un robinet de verre à quatre voies est interposé entre l'électrolyte et le galvanomètre. Aux deux extrémités de la résistance liquide r_1, contenue dans un tube capillaire, est branché un circuit de compensation comprenant une pile E, des résistances r_2, r_4, constantes, en maillechort et une boîte de résistances r_3 à chevilles.

On règle la résistance r_3 de manière qu'en couchant le tube à électrolyte et tournant en même temps le commutateur, le galvanomètre n'éprouve pas de déviation permanente.

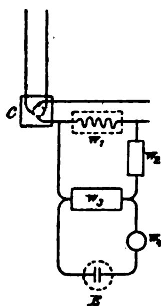


Fig. 1.

Dans ces conditions, la f. é. m. due à l'effet de la pesanteur est égale pour une différence de niveau $= 1$ à :

$$e = \frac{1}{2h} \frac{2 r_1 r_3}{(r_2 + r_1)\left(r_H + r_E + \frac{r_2 r^3}{r_2 + r_3}\right)} E$$

$2h$ est la différence de niveau entre les électrodes produite par le renversement de l'apreil, r_E la résistance et E la f. é. m. de l'élément de compensation.

Cette f. é. m. peut être calculée *a priori*, en admettant qu'elle représente l'équivalent du travail, fourni par la pesanteur quand $1 - n$ équivalents électrochimiques du cation descendent et que n équivalents de l'anion montent d'une électrode à l'autre, n et $1 - n$ désignant les coefficients de transport de ces ions donnés par Hittorf. Il faut bien entendu tenir compte de ce que les ions se déplacent non pas dans le vide mais à l'intérieur d'un liquide dont le poids spécifique n'est pas négligeable. Il peut se faire aussi que des f. é. m. prennent naissance dans les électrodes d'amalgame soumises à des pressions différentes : les tentatives faites par l'auteur, pour déterminer ces f. é. m. ont échoué. La différence de pression change aussi la concentration du liquide : mais la f. é. m. qui proviendrait de cette cause est inférieure aux erreurs d'expérience ; il n'y a donc pas lieu d'en tenir compte jusqu'à nouvel ordre. Même remarque relativement au changement de densité de la substance dissoute dans la dissolution aux forces thermo-électriques, etc.

M. des Coudres a déduit de ses mesures la valeur $n = 1,236$ tandis que le nombre de Hittorf (ramené par interpolation aux mêmes conditions de température et de concentration) est 1,184. Si on voulait faire les corrections qui ont été négligées, l'écart serait encore plus grand. L'auteur attribue cet écart aux erreurs de mesure plutôt qu'à l'inexactitude de la théorie.

Pour réaliser un système d'une constitution chimique plus simple que la dissolution concentrée d'iodure de cadmium, M. des Coudres a répété les expériences avec des éléments à chlorures métalliques ; les électrodes étaient formées par du mercure recouvert d'une couche de chlorure mercureux. Mais les f. é. m. qui d'après le calcul, devaient prendre naissance dans ce système ont une valeur dix fois moindre que dans l'iodure de cadmium. Comme il n'était guère possible d'accroître la sensibilité du galvanomètre, il a fallu augmenter la différence de niveau entre les électrodes. En prenant pour récipient un tube de caoutchouc communiquant à ses extrémités avec des tubes de verre qui renfermaient les électrodes, cette différence de niveau a pu être portée à 4 mètres. Les résultats de ces nouvelles mesures concordent avec les nombres théoriques et aussi avec les nombres de Hittorf.

M. L.

Théorie du magnétisme rémanent de Föppl, par P. Beck (1)

La théorie du magnétisme rémanent donnée par Föppl conduit à cette conséquence qu'un tube d'acier trempé entourant un conducteur doit jouer le rôle d'écran magnétique. Le tube formerait écran non seulement dans un champ magnétique constant, mais aussi dans un champ variable. L'auteur a effectué quelques expériences en mesurant la quantité d'électricité induite dans une spirale de cuivre, par le renversement dans une spirale voisine; il n'a pas constaté de différence entre les indications du galvanomètre, soit quand les deux spirales étaient séparées simplement par l'air, soit quand la spirale inductrice était entourée d'un tube de fer ou d'acier.

La conséquence tirée de la théorie de Föppl ne se vérifie donc pas par l'expérience.

M. L.

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII. p. 464.

BIBLIOGRAPHIE

Les Tramways, voie et matériel, par R. SEGUELA, ancien élève de l'École Polytechnique. Petit in-8° (Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire). — *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs, Paris 1896. Prix : 2 fr 50.

L'industrie des tramways est toute récente; née d'une nécessité absolue de notre existence moderne, du développement des grandes villes, du besoin d'aller plus vite toujours, elle s'est développée avec une très grande rapidité. La traction mécanique des voitures de tramways ne date que de ces dernières années, c'est à elle qu'appartient l'avenir. Les problèmes qu'elle soulève sont nombreux ; outre l'étude des différents systèmes de traction et le choix du système le mieux approprié à l'exploitation d'une ligne donnée, l'emploi de la traction mécanique, par suite du poids plus considérable des voitures et de leur plus grande vitesse entraîne à faire subir aux voies de roulement des modifications notables. Tous ces progrès se sont réalisés successivement, et leur description est disséminée dans des notes et des mémoires parus à différentes époques dans des recueils spéciaux. Aucun ouvrage n'a encore été consacré, en France, à l'étude générale de la question.

L'ouvrage de M. Seguela, en comblant cette lacune, rendra donc un service signalé.

Il est divisé en deux parties :

La première est consacrée aux voies qu'on peut diviser en deux catégories principales : celles qui sont placées en accotement et celles qui sont placées en chaussée. En France, les rails des voies de la seconde catégorie sont de deux types bien distincts : les rails dont l'ornière est formee par l'intervalle entre un rail et un contre-rail ; la voie Marsillon est la plus connue. Et les rails à gorge dont la voie Broca est le type le plus connu, à Paris. A l'étranger, on emploie des dispositions plus ou moins analogues, sauf en Amérique, où le rail à poutre, ou girder-rail, est le plus répandu. Chacune des dispositions principales est étudiée, ainsi que les dispositions accessoires, telles que les changements de voies, etc. Un chapitre spécial est consacré au prix de revient des voies.

La seconde partie est consacrée à l'étude du matériel. Après avoir déterminé la puissance qu'il faut donner aux moteurs par l'étude des résistances à la traction : résistance au roulement, résistance des mécanismes, résistance au démarrage, adhérence, l'auteur passe en revue les dispositions adoptées pour faciliter le passage en courbe : véhicules à essieux rigides, bogies à deux essieux et à un seul essieu, dispositions diverses d'essieux convergents, véhicules comportant des essieux rigides et des essieux convergents. Les dispositions spéciales des véhicules, boîtes à huile, ressorts, attelages, freins, sont aussi étudiées. Dans le chapitre III sont examinés les véhicules portant les moteurs et la régulation des moteurs. Enfin, dans un chapitre spécial, les divers systèmes de traction sont décrits ; suivant l'ordre logique adopté, l'auteur les divise en trois grandes catégories : systèmes dans lesquels le moteur est juxtaposé au générateur, systèmes à accumulateurs divers, systèmes dans lesquels la force de traction est

transmise à distance d'une usine centrale aux véhicules à remarquer.

Malgré sa concision (l'ouvrage complet ne comprend que 170 pages petit format) le nombre de renseignements que comprend ce volume est très considérable en raison du choix judicieux que l'auteur a su faire parmi tous les matériaux à sa disposition. C'était une tâche peu aisée. En outre, un index bibliographique assez étendu permet de recourir pour plus de détails aux mémoires originaux et complète très heureusement cet ouvrage.

G. PELLISSIER.

Ouvrage reçu

L'air comprimé appliqué à la traction des tramways, par L. A. BARBET, un vol. in-8° de 168 pages, avec 96 fig. dans le texte. Paris, 1896 ; *Baudry et Cie*, éditeurs, 15, rue des Saints Pères.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — *Éclairage.* — L'administration des travaux de Paris a présenté dernièrement, au Conseil Municipal, qui en a accepté les conclusions, un mémoire visant la transformation de l'éclairage de l'avenue de l'Opéra, l'électricité devant remplacer le gaz. Ces travaux commenceront probablement dans le courant du mois d'octobre de cette année. L'avenue sera éclairée par cinquante foyers électriques. Le courant sera fourni par l'usine des Halles.

Alger. — *Traction* — D'après nos informations les travaux d'installation de tramways électriques de la ville d'Alger vont pouvoir être commencés. La Cie Thomson Houston concessionnaire du réseau entreprendra les travaux suivants :

La ligne des tramways électriques partirait de l'hôpital du Dey pour aboutir à la Colonne-Voirol, en empruntant exactement l'itinéraire suivi actuellement par la Société des Tramw-Omnibus.

L'usine génératrice serait édifiée au Pâté de Mustapha. Elle se composerait de trois groupes d'une puissance de 350 chevaux. Trois dynamos fourniraient l'énergie électrique sur le pied de 200 kilowatts chacune.

Les voitures, du système Thomson-Houston, seraient munies de deux moteurs commandant chacun un essieu.

L'ensemble en un mot, rentre dans la catégorie des tramways à conducteur électrique aérien, autrement dit à *trôlet*, système le plus économique, le plus pratique, et adopté par la plupart des grandes villes déjà pourvues de tramways à traction mécanique.

Les voitures seront à 42 places avec faculté, pour chacune d'elles, d'en remorquer une semblable et du même nombre de places. Elles seront munies de freins mécaniques puissants et porteront, en outre, des balais pour nettoyer les rails, des appareils de protection contre la foudre et 5 lampes de 16 bougies pour l'éclairage. Le trajet s'effectuera, entre l'hôpital du Dey et le Plateau-Saulière, en 18 minutes ; en 20 minutes, d'Alger à la Colonne-Voirol. Voilà, ce nous semble, de sérieuses améliorations à mettre en parallèle avec nos braves omnibus actuels. Ajoutons à cela le confortable des voitures, leur propreté, leur élégance et la suppression totale des cahots violents auxquels, malgré l'habitude, il est difficile de se faire.

Disons encore que, le soir, toute la ligne sera éclairée à l'électricité, que le prix des places restera le même, et ce sera plus qu'il n'en faut, nous aimons à le croire, pour faire désirer ardemment aux Algérois qu'une prompte solution soit donnée.

La future Société concessionnaire est en mesure de commencer les travaux 45 jours après la délivrance de l'autorisation, et elle estime que 5 mois au plus lui suffiront pour livrer la nouvelle ligne à la circulation.

Barèges (*Hautes Pyrénées*). — *Éclairage.* — Nous apprenons que l'inauguration de l'éclairage électrique de la station thermale de Barèges, vient d'avoir lieu. On se rappelle (Voir *Éclairage Électrique* t. II p. 671, 16 mars 1895) qu'un premier projet avait déjà été soumis à l'approbation du Conseil Municipal l'année dernière; enfin à l'heure actuelle cette question est réalisée.

La puissance motrice est empruntée à une chute d'eau, elle est suffisante pour actionner un tramway électrique de Luz à Barèges. En peu de temps toute la vallée ne sera plus qu'un vaste champ d'application de l'énergie électrique. Fait à relever dans cette récente installation : tous les conducteurs qui trasmettent, sont, sur leur parcours dans les montagnes, logés dans des canalisations souterraines à cause des fréquentes avalanches de neige qui sans nul doute n'épargneraient pas les poteaux qui supporteraient les câbles.

Baume-les-Dames (*Doubs*). — *Éclairage*. — Le Conseil Municipal de Baume, désirant éclairer la ville au moyen de l'électricité, M. A. Schwander, industriel à Montbéliard a fait des propositions à ce Conseil relativement à cet éclairage.

Dans son projet, M. Schwander indique en partie les conditions qu'il serait en mesure de faire aux particuliers et demande 3000 fr. à la ville pour 80 lampes, à la condition que cette dernière lui garantisse un minimum de recettes de 20 000 francs.

Ces conditions n'ont pas été acceptées par le Conseil Municipal.

Cette. — *Traction*. — A propos des tramways électriques dont nous avons parlé dans notre avant-dernier numéro (Voir *Écl. Élec.*, t. VIII, p. 284, 8 août 1896), nous apprenons que le projet sur lequel nous avons donné quelques détails n'est pas encore définitivement adopté. Le Conseil Municipal vient de recevoir deux autres projets d'installations de tramways électriques, provenant l'un de M. Grammont, de Pont-de Cherui (Isère) et l'autre de M. Herdt, représentant de la Cie Nouvelle d'électricité dont le siège est à Paris.

Le projet de M. Grammont comprend deux lignes: 1° de la gare aux Abattoirs, longueur 2 750 mètres; 2° du boulevard des casernes à l'entrée du Môle, longueur 2 850 mètres.

Prix des places, 0,15 c. sur toutes les lignes avec droit à la correspondance ; les enfants au dessous de 3 ans ne payeront pas.

M. Emile Aubry, ingénieur à Cette, a fait connaître que M. Grammont consentirait à ajouter aux conditions ci-dessus les trois suivantes :

Le personnel d'exploitation serait recruté parmi les habitants de la ville dans une proportion de 60 pour 100 ; la ligne n° 1 pourrait être prolongée jusqu'à l'octroi de la Peyrade et la ligne n° 2 jusqu'à la Corniche, mais l'exploitation de ces deux tronçons de voie serait facultative et subordonnée à certaines circonstances à déterminer.

M. Grammont se préoccupera en outre, de l'installation d'une troisième ligne, contournant la montagne depuis les carsernes jusqu'à la Corniche, en passant par le cimetière de Romanis.

Le projet de M. Herdt comprend un réseau de 6 lignes, desservant la ville en tous sens. Le rétrocessionnaire entretiendra les voies dont il aura l'exploitation sur une largeur de 2 mètres, moyennant une subvention de 300 fr. que la ville lui accordera annuellement par kilomètre de voie.

La Compagnie s'engage à terminer les études dans les trois mois qui suivront la date de la signature du traité et à achever les travaux d'exécution dans le délai maximum d'un an.

Les départs auront lieu tous les cinq ou dix minutes, sur les lignes les plus importantes, et au moins tous les vingt minutes sur les autres.

L'énergie électrique sera distribuée par un fil aérien avec prise de courant système à trôlet.

La compagnie paiera à la ville un droit de stationnement de 50 fr. par kilomètre de voie exploitée ; mais les bureaux d'attente disposés sur la voie publique seront affranchis du droit de place.

Le matériel sera de construction française. Le personnel choisi parmi les habitants de Cette dans une proportion de 80 pour 100.

La Commission nommée par le Conseil Municipal est chargée par ce dernier d'examiner les nouveaux projets qui viennent de lui être soumis, afin d'amenerà bref délai la solution de la question.

Chamonix (*Haute Savoie*). — *Éclairage*. — Le Conseil Municipal de Chamonix vient de prendre une importante décision qui sera acceuillie avec une égale faveur par ses habitants et les nombreux touristes qui viennent des cinq parties du monde pour admirer les sites pittoresques qui l'avoisinent.

Sur la proposition de M. Payot, maire, et de M. Couttet adjoint, le Conseil a voté un emprunt de 100 000 fr. destiné à doter cette ville de la lumière électrique.

La Municipalité espère que les travaux pourront commencer cet automne, et que le nouvel éclairage resplendira dès l'été 1897.

D'après les calculs du projet, le coût de l'éclairage pour les particuliers sera d'environ 20 fr par an, pour une lampe de 16 bougies, et 16 fr pour une lampe de 10 bougies. Pour la saison on paiera 12 fr pour une lampe de 16 bougies, et 10 fr pour une lampe de 10 bougies. Tous ces prix s'entendent sans imitation du nombre d'heures d'éclairage.

Quant à l'éclairage public, il sera assuré par un nombre de lampes très supérieur à celui des becs de gaz actuels.

Voici maintenant quelques détails du projet: l'énergie mécanique nécessaire sera fournie par le ruisseau des Nants ; une prise sera établie à une altitude d'environ 200 m au-dessus de la plaine, et, de cette prise, l'eau sera dérivée par des conduites de 30 cm de diamètre jusqu'à l'usine électrique,

qui sera placée tout près du réservoir actuel des eaux de la ville.

On compte sur une puissance de 200 chevaux, pouvant, par conséquent, entretenir 2000 lampes de 16 bougies.

La station centrale comprendra une turbine et deux dynamos. Les travaux de canalisation ont été confiés à M. Joya, entrepeneur à Grenoble; les installations électriques, générateurs et conducteurs, seront fournis par la Societé Alsacienne de constructions mécaniques, de Belfort.

Les autres travaux seront effectués en régie.

Ecully Rhône. — Traction. — Le *Journal officiel* publie un décret déclarant d'utilité publique l'établissement dans le département du Rhône, d'une ligne de tramways à traction mécanique destinée au transport des voyageurs, de leurs bagages et de leurs petits colis, entre Ecully (place de la Mairie), le quai de Vaise et Lyon.

Un autre décret déclare d'utilité publique, l'établissement dans le département du Rhône, d'une ligne de tramways à traction mécanique, destinée, comme la précédente au transport des voyageurs et petits colis entre le pont d'Ecully et les Trois-Renards, vers la route nationale n° 7 de Paris à Antibes.

Marseille. — Traction. — Tout récemment le *Petit Marseillais* publiait un article dans lequel il reproche à la municipalité de mettre trop de lenteur dans sa décision sur la création d'une ligne de tramways à traction électrique devant parcourir l'avenue du Prado, et enfin demande pour quelle raison maintiendrait-on en suspens la ligne de Mazargues aujourd'hui complètement terminée.

L'article du *Petit Marseillais* objecte à cette lenteur ou mauvaise volonté du Conseil Municipal, l'exemple d'autres villes de beaucoup moins importantes que Marseille où la traction électrique, dont les avantages sont aujourd'hui universellement reconnus, est adoptée et employée avec succès.

Nantes, — *Traction.* — Nous apprenons qu'en outre des travaux en cours d'exécution pour l'installation d'une ligne de tramways électriques, trois Compagnies ont adressé des propositions au Conseil Municipal relativement à la création de nouvelles lignes de tramways électriques sur l'ancienne ligne des ponts, aujourd'hui si délaissé, et allant jusqu'à St-Paul. Une autre ligne est projetée également dans la direction de Vannes, et une troisième allant de la place Royale à la place Canclaux.

Reims. — Station centrale. — Le Conseil Municipal vient d'accepter en entier le traité passé avec la Compagnie du Gaz concernant la reprise du matériel de l'usine électrique.

DIVERS

Lampe électrique à incandescence au niobium métallique.— Quoiqu'à l'heure actuelle le charbon maintienne encore son rang pour les lampes à incandescence, on commence à faire de nombreux essais pour lui substituer des filaments métalliques à point de fusion élevé.

D'après *Industries and Iron*, M. Aylsworth de Newark, vient de construire des lampes avec des métaux tels que le niobium, le tantale, le molybdène, le titane, le zirconium.

La méthode de préparation de ces filaments métalliques consiste à chauffer avec un gaz réducteur tel que l'hydrogène la vapeur d'un composé halogéne de l'élément qu'il s'agit de déposer.

L'appareil employé consiste en une chambre de chauffe munie d'un tube de dégagement pour les produits de la combustion, un autre tube recevant le gaz hydrogène sous pression. M. Aylsworth part de la colombite, minerai renfermant du niobium. Il la traite par les moyens connus pour obtenir de l'oxyde de niobium qui, mélé à du charbon de bois et chauffé dans un courant de chlore ou de brôme, donne un composé halogéne qu'il suffit de chauffer ensuite en présence d'hydrogène pour obtenir un dépôt de niobium métallique.

Effets d'une tornade à St-Louis — On a souvent à signaler les dommages, causés par les pertubations atmosphériques, aux lignes télégraphiques ou de transmission d'énergie. Généralement, ces dégats sont peu importants; ils se limitent à quelques fils rompus par suite de la chute d'un poteau renversé par le vent. Mais dans les pays où ces lignes sont très multipliées et qui sont fréquemment visités par des cyclônes, les dégats causés par ces derniers se changent en un véritable désastre. Les journaux américains rapportent que le 3 juin dernier un fait semblable s'est produit à St-Louis. Un cyclône d'une extrême violence s'est déchaîné dans cette région, brisant, renversant tout sur son passage. Le matériel des Compagnies

électriques a eu le plus à souffrir. La plupart des lignes aériennes que possédaient ces dernières ont été renversées, rompues ; le chiffre des dégats causés par l'ouragan s'élève à la somme respectable 5000 000 fr. Sans parler d'autres dégats matériels causés par ce météore, de tous les poteaux qui se trouvaient au centre de son tournoiement, pas un n'est resté debout ; la surface ravagée est d'environ 16 km². Seule la Compagnie d'éclairage Edison éprouve un perte de plus de 500 000 francs, la Compagnie des téléphones Bell évalue les siennes à un chiffre à peu près semblable ; la Postal Télégraph Company qui possède des lignes souterraines est la moins éprouvée. La station d'énergie de la Union Street Railway Company s'est effondrée, ensevelissant tout le matériel, néanmoins, elle a pu, après le déblaiement, fonctionner en partie et alimenter les nombreuses lignes de tramways qui sillonnent la ville et qui, fort heureusement n'ont pas trop souffert. Malheureusement il n'en est pas de même des Compagnies d'éclairage, qui n'ont pas encore pu réparer le désordre de sorte que, à l'heure actuelle la ville est peut-être encore plongée, toutes les nuits, dans les ténèbres.

L'utilisation des chutes d'eau en Suisse. — Dans tous les pays de montagne, et notamment en Suisse, on utilise les chutes d'eau et les rivières torrentueuses, à débit suffisamment constant, pour installer des usines électriques et transporter à distance l'énergie ainsi recueillie.

Parmi les applications intéressantes faites à ce sujet, on peut citer l'utilisation du cours de l'Areuse, qui alimente sur une longueur de 30 kilomètres, une petite vallée tributaire du lac de Neuchâtel.

Cinq paliers, avec des chutes de 16, 50, 90, 60 et 17 mètres, desservent des usines qui alimentent, en eau et en lumière, un certain nombre de localités.

Un jury a examiné les propositions de divers industriels et mis au concours les méthodes paraissant les plus pratiques.

La préférence a été donnée, pour une portion du réseau, au système de transport à courant continu à haute tension constitué par un circuit en boucle sur lequel sont branchés en série, d'une part, les génératrices unitaires en nombre variable suivant la demande, d'autre part, les moteurs transformateurs de la tension et les grands moteurs industriels.

La distribution entre les localités intéressées se fait au moyen de câbles qui utilisent quelques installations déjà existantes. Les groupes transformateurs de la tension comprennent chacun un moteur de 120 chevaux et 420 tours par minute, commandant directement une génératrice de 75 kilowatts (rendement garanti du groupe 92 pour 100). Ce système est celui qui, d'après le jury, assure le meilleur fonctionnement de l'ensemble en rendant les grands moteurs parfaitement indépendants les uns des autres ; il assure également la constance de la tension pour l'éclairage et les petits moteurs industriels.

Le système d'accumulation a déjà été discuté pour l'époque à laquelle les forces actuelles ne suffiraient plus. Il convient d'ajouter que les experts pour la partie hydraulique se prononcent pour l'accumulation hydraulique, tandis que le jury conseille un système différent.

D'une manière générale, on est arrivé à transporter 3 200 chevaux à 24 kilomètres, ce qui est un résultat assez remarquable et qui mérite d'être enregistré.

ERRATA

Par suite d'un retard dans la réception des corrections envoyées à l'imprimerie pendant notre séjour en Suisse, à l'occasion du Congrès des Électriciens, plusieurs erreurs sont restées dans le précédent numéro.

Page 319, le titre de la communication de M. de Brévans « **L'éclairage électrique à l'acétylène** » a été omis; p. 320, 1e colonne, ligne 17, au lieu de « qui est, » lire « que c'est »; dans le tableau du bas de la colonne, lire AzH^3, au lieu de $A^2 H^3$; dans le tableau de la 2e colonne lire Az et CO au lieu de A, et C*o*; enfin rétablir le titre de la communication de M. Hubou : **Les applications de l'acétylène.**

Dans la chronique, Buda-Pest (p. 334), a été placé en Roumanie, par suite d'une erreur que nos lecteurs ont facilement corrigée; enfin Os-Budavara (p. 333) a été considérée comme une villle turque alors que ce n'est qu'une reproduction de la capitale hongroise sous la domination turque, faite à l'occasion de l'Exposition actuelle de Buda-Pest.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie Em. Mauchaussat, 32, Bd Vaugirard.

Tome VIII | Samedi 29 Août 1896 | 3e Année. — N° 35

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

Dans le précédent numéro nous avons publié les rapports et les discussions sur les unités magnétiques et photométriques ; il nous reste aujourd'hui à rendre compte des travaux du Congrès relatifs aux questions suivantes, d'un ordre plus industriel :

1° Perturbations diverses dues aux courants industriels, question qui a donné lieu à deux rapports, l'un du Dr Wietlisbach, que nous reproduisons plus loin l'autre de M. Monmerqué, sur les dangers d'électrolyse par les courants de retour des tramways électriques où l'auteur indique les conclusions d'un très important mémoire qu'il a eu la complaisance de nous remettre, il y a quelques semaines, et dont la publication dans ce journal s'est trouvé reculée par des causes indépendantes de notre volonté. Cette question a été l'objet d'une discussion pleine d'intérêt dont M. Ch. Eug. Guye, professeur au Polytechnicum de Zurich et l'un des secrétaires du Congrès, a bien voulu rendre compte.

2° Transport et distribution de l'énergie à grande distance par l'emploi des courants continus et des courants alternatifs, sujet qui a été l'objet d'une chaude discussion entre les partisans des deux espèces de courants.

3° Protection des lignes à haute tension contre les décharges atmosphériques, question d'un intérêt au moins aussi grand que la précédente dans les pays montagneux.

RAPPORT DU Dr WIETLISBACH SUR LES PERTURBATIONS TÉLÉPHONIQUES DUES A L'INFLUENCE DES COURANTS INDUSTRIELS

Les courants de grande et de faible intensité sont en conflit perpétuel, particulièrement à l'intérieur des villes. Parmi les courants de grande intensité, il faut comprendre particulièrement ceux qui traversent les conducteurs pour tramways, et parmi les courants faibles ceux des réseaux téléphoniques. Lorsque ces derniers virent le jour, il y a près de 15 ans, les courants intenses entraient à peine dans le domaine de l'électrotechnique et n'étaient nullement en concurrence avec eux. Les fils téléphoniques régnaient seuls en maîtres ; il n'y avait que les considérations relatives aux droits des propriétaires d'immeubles et les prescriptions de la police des rues qui limitaient la liberté complète de leur développement. En outre, dans les pays où le télégraphe et le téléphone sont monopole d'État, les courants téléphoniques étaient protégés par des lois et des prescriptions.

Avec le développement des réseaux à grande intensité, la liberté des réseaux à faible intensité s'est vue limitée de plus en plus. Au début, les techniciens qui s'occupaient des courants faibles ont fait opposition ; ils ont cherché, en ayant recours à des procès, à protéger leurs droits acquis (particulièrement dans les pays où le monopole d'État n'existe pas, comme en Amérique). Mais en définitive

des considérations basées, non pas sur le droit, mais sur les avantages du commerce et de l'industrie amenèrent à une entente réciproque et lorsque les deux exploitations devaient exister à côté l'une de l'autre, on ne tarda pas à préférer une entente moins coûteuse.

On fit effort pour arriver, par des prescriptions légales, à une semblable entente dans les pays dans lesquels l'État avait le monopole. Puisqu'on ne pouvait accorder aux courants de faible intensité le droit exclusif d'avoir des réseaux aériens, il ne s'agissait plus que de faire en sorte que les deux genres d'installations puissent exister à côté l'une de l'autre sans rendre mutuellement l'exploitation raisonnable impossible.

Les réseaux pour courants faibles sont naturellement dans une situation défavorable. Ils ne peuvent enrayer le développement des courants industriels qu'en confisquant l'espace par leur développement toujours croissant, au point de rendre impossible l'établissement des conducteurs à grosse intensité. Mais pour le reste, les conducteurs pour faible intensité sont presque sans défense ; car l'énergie développée dans les fils à grosse intensité est environ un millier de fois supérieure à la leur (elle peut même devenir 100 et 1000 millions de fois plus grande). Vis à vis d'une telle différence, une protection des courants faibles par eux-mêmes est impossible. L'ingénieur calcule ses travaux en pour 100 et si tout va bien en pour 1000. Les mesures scientifiques elles-mêmes, exécutées dans les laboratoires de physique, ne peuvent pas même prétendre à une exactitude d'un millième en moyenne ; la technique des courants faibles ne peut donc pas prétendre exécuter ses installations avec une aussi grande exactitude, comme cela serait nécessaire pour éviter l'influence pernicieuse des courants industriels.

Ces influences peuvent être classées en 3 catégories pour autant qu'il s'agit de l'effet du courant électrique.

1° Le courant intense peut, par un contact accidentel avec un fil téléphonique (rupture d'un fil ou d'un poteau, etc.), pénétrer dans le réseau à faible intensité. Si la tension de ce courant est élevée, le courant résultant sera très intense et les appareils intercalés dans le réseau téléphonique seront détruits ; souvent aussi le fil conducteur sera fondu. Le dégagement de chaleur peut d'ailleurs être si grand que les parties de bois qui se trouvent dans le voisinage peuvent prendre feu et qu'un dommage plus ou moins grand peut en résulter. Dans les grandes administrations téléphoniques, ces conséquences se chiffrent par millions de francs.

2° Une partie du courant intense peut pénétrer, d'une façon permanente, dans les conducteurs téléphoniques ; le plus fréquemment, c'est par l'intermédiaire de la terre, particulièrement si l'une ou l'autre des installations n'est pas du tout isolée de la terre ou présente seulement un défaut d'isolation, comme cela est le cas généralement par les appuis de la ligne, les poteaux, etc. Si le courant est absolument constant, comme celui que produit par exemple une batterie d'accumulateurs, on n'en perçoit aucune trace dans le téléphone, tout au plus porte-t-il quelque atteinte à la sensibilité des appareils s'il dépasse une certaine limite. Mais si le courant présente un caractère ondulé, ce qui est toujours le cas lorsque le courant continu est utilisé pour la marche des moteurs, ou s'il est franchement alternatif (courants alternatifs et polyphasés), il en résulte un bourdonnement dans le téléphone. Ce bourdonnement est assez faible dans le premier cas, il est très intense dans le second ; la compréhension de la parole est alors difficile et peut même devenir tout à fait impossible.

3° Le courant intense exerce enfin à distance une action électrique (induction) sur les conducteurs voisins destinés aux faibles courants ; à toute variation d'intensité de courant correspond, dans le conducteur téléphonique, une vague électrique dont l'intensité est proportionnelle à la variation d'intensité dans le premier conducteur ; toute la

série des ondulations qui se produisent dans l'un des conducteurs est donc reproduite d'une façon analogue dans le second. Mais il y a une différence essentielle entre l'action de l'induction électromagnétique et celle de l'induction électrostatique. La force électromotrice, pour toutes deux, est proportionnelle à la grandeur de la variation du courant primaire et dépend de la situation relative et de la longueur des conducteurs parallèles. Indépendamment de cela, la longueur totale de la ligne téléphonique intervient par sa résistance et sa capacité.

Pour l'induction électromagnétique, l'intensité du courant induit est inversement proportionnelle à la résistance de toute la ligne téléphonique, par conséquent d'autant plus petite que la ligne est plus longue.

Pour l'induction électrostatique, elle est partout proportionnelle à la capacité totale de la ligne téléphonique, par conséquent d'autant plus grande que la ligne est plus longue.

Il peut donc arriver que pour une même longueur de lignes parallèles et pour des variations identiques des courants perturbateurs, la perturbation qui en résulte soit très différente suivant la longueur de la ligne téléphonique.

Quant aux moyens à employer contre ces diverses perturbations, pour celles de la 1re catégorie, nous avons les plombs de sûreté et les dispositifs fusibles qui sont intercalés dans le circuit de la ligne à l'entrée des fils dans les édifices ; ces plombs fondent si l'intensité du courant qui pénètre dépasse la valeur permise de 1 ampère environ. La ligne est alors interrompue et toute détérioration des appareils est rendue impossible. Il n'y a aucune difficulté à construire des appareils de sûreté considérablement plus sensibles, mais ils n'offrent aucune utilité pratique, car ils fondent trop facilement, même lors d'un très faible orage par exemple, et causent de nombreuses interruptions qui contrarient considérablement le service d'exploitation.

Lorsque la tension, dans les conducteurs industriels, s'élève au-dessus de 500 volts, il se produit à la place où s'est produit la fusion un arc qui ne s'éteint pas de lui-même et peut devenir plus dangereux qu'un courant trop intense. Il faut alors recourir dans ce cas à des dispositions particulières pour empêcher la formation de ces arcs ou provoquer leur extinction immédiate.

Dans ce but, le fil fusible est placé dans un long tube de verre ou dans un bain de sable. Il faudra également, autant que possible, en éloigner toute matière inflammable. Afin d'éviter que le tube de verre ne saute ou pour rendre cette explosion inoffensive, ils sont introduits dans une enveloppe en fibre.

Lorsqu'un courant suffisamment intense traverse le fil fusible, il est volatilisé avec une sorte d'explosion et la vapeur s'échappe hors du tube. L'explosion éteint du même coup l'arc, pour autant qu'il s'est produit.

Il y a encore divers autres moyens pour préserver d'un échauffement excessif les fils de la ligne et les appareils qui s'y trouvent intercalés. Plus grande est la tension, plus minutieuses devront être les moyens de préservation.

On a souvent essayé d'empêcher par des moyens mécaniques le contact qui peut se produire entre les lignes à fort et à faible courant. Il y en a qui consistent à isoler les fils par un enduit de caoutchouc ou à placer un moule en bois avec rainure dans laquelle le fil à grande intensité est introduit ; à tendre parallèlement à la ligne industrielle et au-dessous d'elle des fils de protection, ou enfin, à employer de solides filets protecteurs.

Tant que l'on peut faire usage des dispositifs fusibles avec sécurité, c'est à dire jusqu'à la tension d'environ 500 volts, il faut les préférer, car la plupart des mesures citées plus haut n'offrent pas toute sécurité. Pour les hautes tensions de 1 000 volts et plus, l'installation des dispositifs de sûreté pour beaucoup de lignes exige un grand local sans danger d'incendie que l'on a rarement à disposition dans les édifices actuels. En outre, ces tensions sont très dangereuses pour

les ouvriers et les employés qui sont dans le voisinage des conducteurs. Il faut alors préconiser l'emploi d'un solide filet de protection qui entoure de tous côtés les conducteurs à haute tension et les empêche complètement de tomber en dehors. Il faut recommander seulement de mettre le filet protecteur et les poteaux qui le soutiennent en bonne communication avec le sol. On arrive alors à ce résultat que le poteau peut être touché sans danger, même si un fil se rompt et vient en contact avec le filet protecteur. Sans la communication avec la terre, un contact serait dans ce cas fatalement mortel. Cette disposition a, en outre, l'avantage de produire un court circuit avec la terre, par le fait même de l'accident, et les appareils de protection de la station génératrice sont hors circuit avant qu'un plus grand malheur ne se produise. J'ai assisté d'ailleurs à des essais de ce genre dans l'usine électrique de Wynau.

Un résultat analogue a été atteint au moyen des appareils électromagnétiques proposés par M. Ulbricht, à Iwickau.

Ces appareils produisent automatiquement la dérivation à la terre ; ils conviennent tout particulièrement aux besoins de la traction électrique.

Passons aux perturbations de la seconde catégorie ; le bourdonnement qui se produit dans le téléphone par suite de courants variables qui pénètrent dans le réseau, peut être évité en isolant aussi bien que possible le réseau téléphonique de la terre et de tous les corps qui sont en communication avec les conducteurs industriels. Mais ce moyen ne suffit pas toujours lorsqu'on a affaire à des conducteurs à haute tension (plus de 500 volts). C'est pratiquement impossible, aussi bien pour les lignes parcourues par les courants intenses que pour celles parcourues par les courants faibles, de maintenir partout, et d'une façon, permanente, une très grande isolation. L'emploi technique de ces courants comporte avec lui la nécessité de les introduire souvent dans des locaux humides. Grâce à la haute tension de l'un des réseaux et à l'extrême sensibilité des appareils de l'autre, une dérivation extrêmement faible, de quelques millionièmes de l'intensité, suffit à produire une perturbation importante. Il en résulte que les deux systèmes de réseau ne peuvent exister à côté l'un de l'autre, que si tous deux sont aussi bien isolés que possible du sol.

Cette condition est en même temps une condition d'économie qui doit être prise en considération dans le cas des courants industriels ; et c'est un avantage pour les réseaux téléphoniques.

C'est la troisième catégorie de perturbations, celles dues à l'induction, qui offrent les plus grandes difficultés. C'est le double fil qui est le moyen le plus avantageux de les combattre. La ligne téléphonique est alors formée de deux fils qui cheminent aussi près que possible l'un de l'autre et c'est à leurs extrémités que sont intercalés les appareils.

S'il se trouve dans le voisinage un conducteur parcouru par un courant intense dans chacun des fils, il se produit un courant d'induction ; ces deux courants d'induction sont dirigés tous deux vers la même extrémité et se compensent ; il n'y a par conséquent aucune perturbation sensible dans le téléphone.

Si donc les causes perturbatrices ne sont pas trop puissantes, ce moyen donne des résultats satisfaisants. Mais si elles sont assez grandes pour que le courant de perturbation soit plusieurs centaines de fois ou même plusieurs milliers de fois plus intense que le courant normal qui doit faire fonctionner le téléphone, ce moyen manquera son but. Les mesures à prendre devront donc s'adresser aussi au conducteur à grande intensité, il faudra également disposer le circuit de façon que les deux conducteurs industriels soient placés très près l'un de l'autre et que leur isolation soit aussi élevée que possible.

Dans ce cas on a deux courants très approximativement égaux qui traversent les conducteurs l'un vers la droite, l'autre vers la gauche. Il en résulte que les deux cou-

rants d'induction qu'ils produisent dans un fil téléphonique sont dirigés en sens inverse et qu'ils se compensent approximativement. On a donc une double action différentielle entre les deux conducteurs à grande intensité aussi bien qu'entre les deux fils téléphoniques, et pour obtenir un amortissement suffisant du bruit on doit placer les deux lignes à une distance suffisante l'une de l'autre. Cette distance dépend naturellement de la longueur du tronçon où les lignes sont parallèles et de la nature du courant intense. Pour annuler complètement le murmure, les quatre fils doivent se trouver dans une certaine position relative.

Si 1 et 2 désignent les conducteurs de la ligne à grande intensité, 3 et 4 ceux de la ligne téléphonique et que $r_{(1.3)}$ $r_{(2.3)}$ $r_{(1.4)}$ $r_{(2.4)}$ représentent leurs distances respectives, il n'y aura aucune induction si la relation $r_{(1.3)} r_{(2.4)} = r_{(2.3)} r_{(1.4)}$ est satisfaite.

Pratiquement on ne peut y satisfaire que d'une façon approchée et ce sera toujours plus simple de maintenir les deux lignes aussi éloignées que possible l'une de l'autre.

Cette disposition du circuit avec fil de retour ne peut donner de bons résultats que si l'isolation est parfaite et si les deux moitiés sont au point de vue électrique absolument symétriques par rapport à une direction quelconque, condition que l'on peut remplir pour les lignes de petite longueur ; mais pour celles qui sont longues et dont l'étendue peut dépasser 100 et 1000 kilomètres, le maintien d'une façon durable de cette condition est une impossibilité technique.

Il faut alors prendre ce qui suit en considération. Si à l'une des extrémités d'une ligne téléphonique d'environ 500 kilomètres de longueur se trouve un conducteur parcouru par un courant intense (un courant alternatif à haute tension par exemple) et que ce conducteur suive la ligne parallèlement sur une longueur de quelques cents mètres, il suffit d'un défaut d'isolation, tel qu'un contact avec une branche d'arbre à l'autre extrémité de la ligne, (donc à 500 kilomètres de distance) pour produire aussitôt sur toute la ligne téléphonique un bruit tel que la conversation, devient impossible. Mais en outre ce bruit, s'il est suffisamment intense, se communique à tous les autres conducteurs qui utilisent sur une longueur plus ou moins grande les mêmes poteaux que le conducteur qui est le siège de ces perturbations. Si par exemple la ligne téléphonique A B présente un petit défaut en B, le bruit produit, par exemple, par un tramway électrique en A ne se propage pas seulement de A en B, mais aussi d'une façon plus ou moins sensible sur toutes les lignes qui utilisent les mêmes poteaux sur une longueur plus ou moins grande, quand bien même les extrémités de ces lignes ne sont ni en A, ni en B. Dans les cas défavorables, si le bruit est particulièrement fort, il peut même se transmettre par une action secondaire et tertiaire. De la ligne où le bruit est produit par l'influence d'un courant fort, il se propage à la ligne A B, et de celle-là à une autre C D, qui est absolument indépendante de la première. Cette circonstance constitue une des plus grandes difficultés ; elle n'est pas habituellement prise suffisamment en considération. En outre il faut prendre garde que dans les réseaux téléphoniques importants on a affaire à de milliers de kilomètres de ligne, qui sont en partie placés dans des circonstances défavorables et où le procédé qui consiste à croiser les fils n'atteint pas son but.

Pour arriver à un résultat pratique il n'y a souvent pas d'autre moyen que de placer dans des câbles souterrains les parties exposées. Mais le moyen n'est avantageux que dans le cas où un assez grand nombre de lignes téléphoniques peuvent simultanément être placées de la sorte.

Les translateurs, (véritables transformateurs) qui réunissent au moyen des phénomènes électromagnétiques deux portions de ligne constituent un autre moyen de préservation ; ils empêchent que l'effet d'un défaut dans la ligne, dérivation à la terre, résistance anormale etc., ne se propage d'une partie de

la ligne à l'autre. La capacité effective se trouve alors en même temps diminuée. Supposons par exemple que les tronçons Zurich-Berne et Berne-Genève soient réunis par un translateur, une dérivation à Genève est sans influence sur le tronçon Berne-Zurich et une courant intense qui agirait à Zurich ne peut causer aucun bruit à Genève. Il est vrai que l'effet utiledu translateur est au maximum 90 pour 100; cette disposition au moyen de laquelle une perturbation peut être limitée à une certaine étendue de la ligne, est donc, en règle générale, étroitement liée à une perte d'énergie.

L'application des transformateurs dans l'électrotechnique des circuits intenses rend aussi les installations plus maniables et la perte dans les transformateurs est en partie composée par la diminution de la perte en ligne.

Quant aux autres moyens de préservation, comme le croisement des fils, le procédé Müller pour le montage, etc., ils ont une importance secondaire ; ils peuvent bien rendre, dans certains cas, de précieux services mais ils ne sont pas appropriés à une application générale.

L'intensité du bourdonnement est naturellement très différente et dépend principalement de l'intensité des variations du courant intense et de la longueur du parcours où les lignes sont parallèles. Si les conducteurs à grande intensité sont bien isolés de la terre et si les fils parallèles qui forment la ligne sont disposés parallèlement à côté les uns des autres, on peut par la disposition avec fil de retour, arriver, dans la plupart des cas, à faire suivre aux deux lignes parallèlement la même rue sur une largeur de quelques cents mètres. Mais si le parcours s'étend à plusieurs kilomètres et plus, il peut arriver que même à la distance de 100 mètres et plus le bruit soit encore très marqué. La configuration du sol paraît exercer une certaine influence à cet égard. Si la ligne à grande intensité présente des défauts d'isolement ou même si elle est reliée à la terre, il suffit, avec le courant alternatif d'un seul croisement de ligne, même sous un angle presque droit, pour produire un bourdonnement très gênant.

Parmi les installations à grande intensité qui sont en communication avec la terre, il faut citer la plupart des lignes de tramways. Il est vrai qu'elles sont généralement exploitées avec le courant continu, qui néanmoins, par le mouvement de la voiture se transforme en circuit ondulé. Comme il n'y a qu'un seul conducteur pour amener le courant, l'effet compensateur du conducteur de retour manque ; aussi les perturbations sont-elles relativement très grandes. Il n'existe, en Suisse, qu'un seul tramway qui n'utilise pas la terre ou les rails comme retour et qui possède deux fils de contact aériens et isolés ; c'est le tramway Vevey-Montreux-Chillon.

L'influence sur des fils téléphoniques uniques placés dans la même rue est assez notable, mais elle disparaît presque complètement avec la disposition à fil de retour.

Tous les autres tramways en exploitation ne possèdent qu'un fil de contact qui est suspendu au-dessus des rails et qui amène le courant à la voiture ; au moyen d'un dispositif adapté à la voiture et qui glisse sur le fil ce courant parvient au moteur. De là, il passe au train de la voiture et par les roues parvient aux rails par l'intermédiaire desquels il retourne à la génératrice. Les rails sont généralement placés dans la chaussée et ne sont que peu ou pas isolés, particulièrement par un temps de pluie. La résistance d'isolement ne s'élève guère qu'à 15 à 20 ohms par kilomètre. Une plus ou moins grande partie du courant se répand dans la terre, ou retourne à la machine par d'autres chemins comme les conduites d'eau et de gaz et les fils téléphoniques, etc., ce qui explique la possibilité qu'a le courant d'un tramway de pénétrer dans une ligne téléphonique reliée à la terre. Pour éviter cet inconvénient, les rails devraient être isolés aussi bien que possible de la terre, ce à quoi l'on peut arriver en leur faisant un lit de ciment ou d'asphalte. L'expérience semble confirmer que les rues pavées en bois accusent une perte de courant beaucoup moindre que les autres.

Un autre moyen employé contre la disper-

sion du courant dans le sol est de placer des câbles avec un isolant épais ; ces câbles vont de la machine au point du réseau le plus chargé. Les grandes différences de tension entre les diverses parties du réseau sont alors égalisées et la chute de tension sur les rails est considérablement amoindrie.

Il va de soi que les rails devraient être en bonne communication ; elle peut être assurée au moyen d'un fil de cuivre nu qui est disposé à côté d'eux et qui est relié avec eux. Par l'emploi de ces différents moyens, il devient possible d'abaisser la perte par les rails à une valeur déterminée. Dans les cas particulièrement difficiles, il reste toujours la ressource d'isoler la ligne téléphonique de la terre et de mettre un fil de retour.

Il est plus difficile d'éviter l'induction. Elle provient du fait que le courant constant produit par le générateur est rendu ondulatoire par le mouvement de la voiture.

Il y a trois causes qui paraissent contribuer à cette action :

1° Le contact sur les rails ;

2° Le contact glissant entre le fil de contact et la tige de prise de courant ;

3° Le moteur.

1° Des essais sur l'influence du contact aux rails ont été effectués par M. le rédacteur West sur un tronçon de tramway de Berlin ; ces essais n'ont été faits ni au moyen d'une voiture de tramways ni avec un courant de l'intensité du courant d'exploitation. Deux petites voitures d'un cheval (destinées à la traction animale) furent attelées ensemble au moyen d'une corde de chanvre, non conductrice. Les deux trains de dessous étaient liés l'un avec l'autre à une batterie de deux éléments secs et à l'enroulement primaire d'une bobine d'induction, de sorte que le circuit était complètement fermé par les rails. L'enroulement secondaire était en rapport avec un téléphone. Les rails étaient placés ou dans un soubassement en bois, ou dans une couche de gravier avec pavage, ou dans une couche de béton garnie d'asphalte. On a trouvé que le bruit dans le téléphone était le plus faible sur la partie avec soubassement en bois et qu'il était le plus intense avec le soubassement en béton. Ce bruit peut être attribué à la vibration des roues et des rails, et il est clair qu'il est plus faible sur les rails qui sont sur un lit élastique comme le bois, que sur une couche rigide comme le béton. Le bruit observé consistait dans une succession de craquements qui variaient suivant la nature de la voie et la rapidité de la voiture. A certaines places, où la voie était dans l'eau, l'extinction du bruit était complète. Il en faut conclure que le bruit observé n'est pas celui qui cause les perturbations dans les téléphones, car ce dernier est complètement indépendant de l'humidité du temps, parfois même il est augmenté de ce fait. En outre, il n'a pas le caractère d'un craquement, mais plutôt d'une succession de bruits qui se rapprochent souvent d'un son musical et qui conserve toujours un nombre déterminé de vibrations.

Le craquement observé ne provient donc vraisemblablement pas de la vibration des rails, mais des impuretés, sable, pierre, etc., qui se trouvent sur les rails. On peut d'ailleurs très bien l'observer sur le tramway de l'Exposition de Genève.

2° On a souvent considéré le contact entre la voiture et le conducteur aérien comme la source des perturbations téléphoniques; pour l'un elle réside particulièrement dans le contact, pour l'autre dans de fâcheuses particularités. Le trôlet est, comme on sait, assujetti à une tige à ressort qui par le mouvement de la voiture entre en vibration. Le conducteur aérien lui même, à la façon d'une corde tendue, exécute de fortes vibrations lorsque le dispositif de contact glisse sur lui ; il en résulte que la résistance change à la place du contact, comme celle d'un microphone, et qu'elle rend possible la formation d'un courant ondulé. La roulette peut également sortir du conducteur, ce qui produit un arc et un craquement. C'est de ces phénomènes que M. Du Riche Preller s'est occupé. Le bruit qui provient du contact glissant

n'a pas été encore isolé des autres bruits observés, si je suis bien informé. Sans aucun doute ces bruits peuvent se produire, mais comme me l'ont montré les essais effectués plus tard, ils sont d'une importance secondaire et la question se pose donc de savoir si la principale cause de perturbation, celle qui a son siège dans le moteur, peut être évitée.

3° D'après des essais que j'ai exécutés sur différents tramways de la Suisse (sur la proposition du docteur Behn-Eschenburg) il est prouvé que la cause du bruit réside dans le moteur. Les essais ont été exécutés à l'aide d'un transformateur dont l'enroulement primaire était intercalé dans le conducteur aérien qui alimente le tramway, tandis que dans l'enroulement secondaire on avait placé un téléphone. Pour opérer le plus commodément possible il faut placer le transformateur sur la voiture même avant ou après le moteur. On observe alors le bruit dans le téléphone dans diverses conditions de fonctionnement.

A) La voiture chemine avec le courant dans le moteur. On constate le même bruit qu'aux stations des réseaux téléphoniques.

B) Un courant d'intensité égale au courant normal est dirigé non pas dans le moteur, mais à travers une résistance placée sur la voiture. Le moteur est hors circuit et la voiture roule sur une pente.

On ne constate pas ou presque pas de bruit, bien que le trôlet fonctionne à charge normale.

C) La voiture est soulevée hors des rails sur un chevalet et le moteur tourne à vide. Il se produit de nouveau un bruit intense, analogue à celui de l'expérience A, bien qu'alors les contacts du trôlet et des rails soient immobiles.

Ces essais ont été effectués sur diverses lignes, particulièrement sur le "zentrale Zurich-bergbahn" de Zurich, avec trôlet à roulette, sur le tramway électrique de Genève à contact glissant, enfin sur le tramway de Bâle à contact en étrier. Le résultat de ces essais a été le même dans les trois cas, si ce n'est que le bruit produit par les moteurs était d'intensité très différente. Le bruit le plus faible s'est produit pour le tramway de Bâle, où l'on ne pouvait observer que le bruit de la propre voiture, tandis que celui résultant des autres voitures qui circulaient en même temps, n'était plus perceptible. A Genève et à Zurich le bruit est beaucoup plus fort et l'on entend également les autres voitures qui cheminent en même temps sur la ligne. A Genève on entendait même la machine génératrice.

On peut considérer deux causes du bruit dans les moteurs ; en premier lieu le court circuit des lattes du collecteur et en second lieu le contact des balais qui doivent agir à la façon d'un microphone, sur la voiture qui se trouve en vibration par le fait du mouvement. La première cause ne semble pas devoir être importante, car les collecteurs des machines de Bâle ont moins de segments que ceux de Zurich et de Genève et ces moteurs produisent néanmoins un bruit plus faible. Toutefois ce point reste encore à établir définitivement.

Une fois la cause connue, il faut remédier au mal et la question se pose de savoir ce qu'il faut désirer dans l'intérêt mutuel ausssi bien des lignes de tramways que dans celui des réseaux télégraphiques.

Il faut noter encore un fait assez remarquable, à savoir que les bruits sont généralement assez faibles au début tandis qu'après quelques semaines d'exploitation ils atteignent une intensité suffisante pour compromettre les conversations téléphoniques. Je crois que la cause de ce phénomène réside dans la diminution de l'isolation du conducteur aérien et l'augmentation de conductibilité entre les rails et la terre. Cette manière de voir trouve une preuve dans le fait que l'augmentation du bruit est plus particulièrement observée sur les lignes qui sont placées dans les faubourgs dont les rues sont d'un sol tendre et non pavé, et dans lesquelles, par le fait de l'électrolyse, le passage du courant des rails dans le sol s'augmente le plus facilement. Dans des cas pareils il est nécessaire d'employer des câbles de retour isolés.

Quant aux lignes de tramways qui ont le

contact souterrain, il n'y a pas à prévoir d'influence perturbatrice par induction. Par contre, pour être complet il faut citer les tramways qui utilisent les courants polyphasés et pour lesquels, par exemple, deux fils aériens et les rails forment les trois conducteurs. On n'a plus alors affaire à un courant ondulé dont on peut essayer d'amortir les variations par des moyens techniques, mais bien à un courant alternatif qui exige la capitulation, sans condition, des réseaux téléphoniques. Dans ce cas, tous les réseaux pour faible courant placés loin à la ronde doivent renoncer à la terre comme retour ; cela se comprend, le système revendique l'espace aérien comme seul propriétaire. Les doubles fils ne sont possibles qu'à condition d'avoir une petite capacité et de n'être parallèles à la ligne de tramways que sur quelques centaines de mètres de parcours. Mais sitôt que la capacité grandit, le courant parasite devient plus important que le courant de fonctionnement du téléphone. Pour rendre l'exploitation possible, il n'y a pas d'autre moyen que de placer les conducteurs téléphoniques dans les câbles souterrains. Mais dans ce cas il ne faut plus parler d'accommodement, mais bien de violence et d'abus de pouvoir.

Si l'on veut se faire un jugement sur les perturbations téléphoniques, il faut prendre en considération le fait que le terrain qui doit être accessible au téléphone s'étend d'année en année. A l'origine, il s'étendait sur quelques centaines de mètres, puis sur quelques kilomètres. Actuellement son rayon s'élève à plusieurs centaines de kilomètres et dans peu de temps il s'étendra à plusieurs milliers. Avec cela, les exigences relatives aux appareils et à toute l'installation vont croissant ; le technicien a de la peine à les obtenir toujours dans les conditions de perfection exigée. Si donc les perturbations dues aux courants intenses ne doivent pas limiter, dans une large mesure, les exploitations téléphoniques, ces perturbations peuvent ne pas être plus perceptibles que d'autres bruits accidentels qui proviennent de circonstances météorologiques ou autres. Mais une installation peut très bien produire un bruit qui ne la gêne pas ; le même conducteur peut alors, sur une longueur de plusieurs centaines de kilomètres, atteindre 20 installations semblables ou même davantage et la somme de ces perturbations considérées dans leur ensemble suffira pleinement à donner le coup de mort au téléphone. C'est donc une question entièrement différente, si l'on a affaire à une petite ligne qui est destinée aux communications entre deux points rapprochés, comme par exemple entre une usine électrique et différents services, ou s'il s'agit de l'installation d'une ligne interurbaine à longue distance. Entre ces deux cas, il y a la même différence qu'entre un fiacre qui parcourt une ville à la vitesse de 8 km à l'heure et un train rapide qui couvre des milliers de kilomètres avec une vitesse supérieure à 100 km.

En manière de conclusion, je résume dans les propositions suivantes les résultats de cette étude :

1° Les réseaux téléphoniques ne peuvent se protéger contre l'influence des courants intenses qu'à la condition de renoncer à la terre comme retour et d'employer la double ligne.

2° Les circuits industriels qui transportent des courants plusieurs millions de fois plus intenses que les courants téléphoniques doivent être établis dans les meilleures conditions d'isolement ; les conducteurs d'aller et de retour doivent être, en outre, disposés autant que possible symétriquement pour réduire suffisamment les effets d'induction.

3° Lorsque le courant industriel est à la terre, comme dans les tramways électriques, il faudra utiliser tous les moyens qui peuvent diminuer l'influence pernicieuse sur les courants téléphoniques. Les plus importants sont :

a) Une bonne isolation de la ligne de prise de courant et du reste de l'installation.

b) L'emploi de câbles de retour isolés reliés aux points des rails les plus chargés.

c) De bons éclissages et, comme sûreté,

l'emploi d'un fil de retour d'environ 8 mm d'épaisseur, à placer à côté des rails et relié à eux.

d) Chercher à éviter dans la construction des moteurs tout ce qui peut favoriser l'ondulation du courant.

e) Les tramways avec courants triphasés ne peuvent être autorisés que s'ils utilisent, pour conduire le courant, trois conducteurs isolés de terre.

4° Dans le cas de croisement aérien des lignes téléphoniques et des lignes industrielles ne dépassant pas 500 volts, il est suffisant de protéger les premières par des fils fusibles.

Pour les tensions plus élevées, il faut entourer les conducteurs industriels par un solide réseau qui doit être en bonne et durable communication avec la terre.

DISCUSSION DU RAPPORT PRÉCÉDENT

Après avoir résumé, dans un exposé clair et précis, le mémoire allemand de M. Wietlisbach, M. Palaz remercie vivement le rapporteur et ouvre la discussion. Il transmet alors la présidence à M. Ernest Gérard, Ingénieur en chef des chemins de fer d'Etat belges pour diriger cette discussion.

M. *E. Gérard* expose en premier lieu le côté juridique de la question du conflit entre les courants industriels et les courants téléphoniques.

Aux Etats Unis la thèse qui soutient que le droit est au premier occupant donna longtemps aux compagnies téléphoniques le privilège d'utiliser seules les voies publiques. Plus tard cette manière de voir fut infirmée et des arrêts reconnurent à la traction électrique le droit d'utiliser aussi les voies publiques.

En Angleterre, un jugement récent a été rendu par le tribunal de 1re instance de Leeds dans une affaire entre la National Telephon Co contre la Société des Tramways à fil aérien. Tout en confirmant le droit d'utiliser la voie publique il le subordonne à la condition de réparer les dommages causés à d'autres services utiles. Toute fois les pouvoirs publics en octroyant l'autorisation aux compagnies de tramways peuvent ne pas la surbordonner à cette obligation, pourvu que ces compagnies se bornent à l'usage normal et raisonnable de leurs droits.

Les tramways sont donc abandonnés à la merci des pouvoirs publics et il est très essentiel qu'ils cherchent à se garer eux mêmes contre les causes de dommage qu'ils peuvent commettre envers des tiers, même dans des conditions normales et raisonnables de l'exercice de leurs droits.

Cette considération amène l'orateur à passer à la question technique qui seule doit intéresser le congrès.

Il fait ressortir toute l'importance des prescriptions techniques ; toutefois, il ne faudrait pas aller trop loin, et tout en rendant hommage à la sagesse et à la science qui marquent les prescriptions du Bord of Trade, il s'élève contre certaines de ces prescriptions et les conséquences qu'elles entraînent, en particulier contre la règle des 7 volts. En effet l'article 7 des *Electric traction régulations* exige qu'entre le point le plus éloigné du circircuit de retour et le plus rapproché de l'usine génératrice la différence de potentiel ne soit pas supérieure à 7 volts.

La Société nationale Belge des chemins de fer vicinaux ayant dans un cahier de charges de 1895 inséré cette clause pour la transformation de ses voies en lignes électriques, écarta de ce fait tous les soumissionnaires. A côté de la dépense totale de 1 200 000 francs environ pour tous les autres postes, le circuit de retour devait prévoir un conducteur spécial de 500 000 fr, alors que les feeders alimentant le fil de trôlet n'étaient que de 75 000 fr environ. On fut obligé d'abroger cette clause.

M. *G. Kapp* prend ensuite la parole pour faire part au Congrès d'expériences aux-

quelles il a assisté. Ces expériences sont semblables à celles mentionnées dans le rapport de M Wietlisbach sur l'influence du bruit dû au roulement; il a constaté également que l'établissement de la voie sur bois, fer ou béton n'était pas sans influence.

Revenant à la question relative à la règle des 7 volts, M. Kapp estime que cette limite est encore trop élevée, vu les dommages qui qui peuvent résulter des phénomènes électrolytiques, particulièrement sur les conduites d'eau et de gaz. Comme les rails ne peuvent être parfaitement isolés, il faut atténuer les différences de potentiel qui peuvent se produire soit par l'emploi des câbles de retour, soit aussi au moyen de survolteurs.

M. *von Hefner-Alteneck* rappelle ensuite la loi de l'Administration des Postes et Télégraphes en Allemagne qui a su concilier les intérêts de l'État et ceux des industriels.

En ce qui concerne la protection des stations téléphoniques et télégraphiques contre les contacts, l'administration impériale a renoncé à tous plombs fusibles. Elle limite cette protection aux circuits secondaires pour éviter les incendies.

M. *Hillairet* revient sur la question des survolteurs dont a parlé M. Kapp; il estime qu'on en peut tirer un excellent parti. Il attire également l'attention sur le fait que le fil de retour ne peut être préconisé d'une façon absolue. Il préconise également le filet de garde comme seul efficace pour la protection des lignes industrielles.

M. *R. Thury* estime que la solution des survolteurs en série est parfaite. Jointe à de bons éclissages et à l'emploi de fils de retour convenable, elle doit assurer la bonne marche de l'installation.

M. *Rosen* expose les expériences faites en Belgique et notamment à Bruxelles, sur les perturbations téléphoniques. Quelques-unes de ces expériences ont eu pour but de déterminer la résistance électrique des rails qui servent de retour; elles ont été effectuées sur la ligne de tramways électriques entre la gare du Nord et la gare du Midi par les boulevards circulaires. La résistance trouvée expérimentalement est passablement plus faible que celle calculée d'après les dimensions des conducteurs; elle était de 0,0084 ohm pour une longueur de 5 km.

Quelques expériences ont été également effectuées sur les perturbations téléphoniques dues à la traction. On a procédé, à cet effet, à la mesure de la différence de potentiel entre la terre et les abonnés les plus influencés placés dans le voisinage de la station centrale des tramways. Cette différence s'est élevée, dans certains cas, à près de 3 volts.

Comme les réseaux téléphoniques belges emploient généralement le retour par la terre, on a cherché un remède à ces influences pernicieuses.

On plaçait par exemple un fil de retour commun pour tout un groupe d'abonnés; celui-ci était alors disposé au mieux par rapport aux fils d'aller. Un commutateur permettait même à l'abonné de prendre sa terre ou de se mettre sur le fil de retour commun. Malheureusement le remède n'a pas donné les résultats qu'on attendait; il avait en outre l'inconvénient de se prêter aux indiscrétions dans la transmission des messages.

M. *Palaz* estime que la tension de 500 volts dont parle M. Wietlisbach ne peut être fixée d'une manière invariable; la plupart des tramways, particulièrement lorsqu'ils ont un grand développement, ont à l'origine une tension qui très souvent se rapproche de 600 volts; il ne faudrait pas être trop catégorique sur la valeur de cette limite. M. Palaz donne ensuite lecture des conclusions d'un important travail présenté par M. Monmerqué sur la question des perturbations dues à la traction électrique.

Cet important mémoire devant paraître *in extenso* dans ce journal, nous nous abstenons d'en donner ici l'analyse.

Personne ne demandant plus la parole, M. Palaz propose de renvoyer à une commission, désignée à cet effet, l'étude des propositions qui servent de conclusion au travail

de M. Wietlisbach. Cette commission rapportera devant le Congrès qui aura à exprimer alors son avis.

M. *Kapp* demande qu'il soit bien entendu que les représentants des Associations d'électriciens n'ont nullement l'intention d'engager moralement les sociétés qu'ils représentent et que les décisions émises seront considérées comme de simples vœux.

M. Palaz se déclare entièrement d'accord avec cette manière de voir et l'on procède à la nomination de la commission composée de MM. Gérard, Wietlisbach, Lattes, Hillairet, Thury, Kolben et Kapp.

Dans la séance du samedi 8 août, la commission a admis dans leurs parties essentielles les conclusions du rapport de M. Wietlisbach ; elle les a formulées comme suit :

1. Les réseaux téléphoniques peuvent être efficacement protégés contre les perturbations dues aux courants industriels par la suppression du retour par la terre et l'emploi d'une double ligne.

2. Les circuits industriels qui transportent des courants plusieurs millions de fois plus intenses que les courants téléphoniques doivent être établis dans les meilleures conditions d'isolement et de compensation pour réduire les fuites et les effets d'induction au minimum.

3. Partout où une partie du circuit industriel à courant continu est à la terre, comme pour le cas des chemins de fer, on doit dans la mesure du possible recourir à des mesures spéciales pour réduire les perturbations téléphoniques :

a) Bon isolement de la ligne de prise de courant et de toutes les parties électriquement en contact avec elle.

b) Câbles de retour isolés depuis les points les plus chargés du réseau et éventuellement reliés à des survolteurs.

c) Éclissages soignés, liaisons transversales des rails, fil spécial de retour.

d) Chercher à éviter dans la construction du moteur toute disposition tendant à entraîner une ondulation de courant.

4. Dans les cas de croisement aérien des lignes téléphoniques et des circuits industriels, l'adaptation des fusibles dans les lignes téléphoniques suffit lorsque la tension des courants industriels est inférieure à 750 volts. Dans le cas de tensions supérieures, l'emploi de dispositifs de garde d'une efficacité absolue et avec liaison à la terre est indispensable.

TRANSPORT ET DISTRIBUTION
DE L'ÉNERGIE A GRANDE DISTANCE

Conformément à l'ordre du jour, la discussion de cette question occupe la séance du jeudi 6 août, présidée par le professeur *Ferraris*.

M. *Rey*, présente, au nom de M. *Blondel*, quelques remarques sur le courant déwatté, remarques reproduites plus loin in-extenso. Il insiste sur les inconvénients que présente ce courant dans les distributions par courants alternatifs et appelle l'attention des techniciens sur les moyens pouvant conduire à sa suppression.

A propos de distribution par courants alternatifs, M. *Turettini* signale l'installation qui a été faite deux jours auparavant à l'usine de la Coulouvrenière de deux convertisseurs de 250 chx chacun, recevant le courant biphasé de l'usine de Chèvres et fournissant du courant continu pour les tramways de la ville.

M. *Mascart*, à propos de l'emploi des expressions courant watté et courant déwatté, proteste contre l'introduction continuelle de mots nouveaux dans l'électrotechnique, introduction qui, le plus souvent, ne présente aucun avantage.

En particulier, pourquoi, au lieu des expressions dont il s'agit, ne pas employer celles de courant en phase et de courant en quadrature ? MM. *Hillairet*, *Hospitalier*, *Ferraris*, appuient les observations de M. *Mascart* ; au contraire M. *Palaz* fait ressortir la nécessité de n'employer dans la technique que des expressions très courtes et qu'à ce point de vue les expressions de courant watté et de courant déwatté sont extrêmement commodes.

M. *Thury*, un chaud partisan des distributions par courant continu, fait ressortir les avantages que présente ce système de distribution et signale les installations à haute tension et à intensité constante qu'il a faites dans ces dernières années. Il est convaincu que c'est ce système en série qui convient le mieux pour la distribution de l'énergie à très grande distance.

M. *Tissot*, ingénieur de la Compagnie L'Industrie Électrique, renchérit encore sur les avantages des distributions à courant continu en série : simplicité des tableaux, inutilité d'un personnel expérimenté, très grande régularité de la vitesse des moteurs, rendement satisfaisant quelle que soit la charge, etc. Il ajoute que, bien qu'on ait prétendu qu'on ne pouvait dépasser 10 000 volts dans les distributions de ce genre, il n'hésiterait pas à aller jusqu'à 30 000 volts.

M. *Mengarini* prend la défense des courants alternatifs. S'appuyant sur ce fait indéniable que les applications du champ tournant se sont considérablement développées dans ces dernières années, il en conclut que l'emploi des courants alternatifs ne présente pas de si graves inconvénients qu'on veut bien le dire. D'ailleurs il n'est nullement convaincu que le courant continu à haute tension soit aussi facile à manier que l'ont dit les deux orateurs précédents ; une tension élevée est toujours dangereuse et la manœuvre des commutateurs toujours délicate dans ces conditions. D'un autre côté les inconvénients que présente le courant déwatté dans les distributions par courants alternatifs peuvent être atténués, ainsi que le dit M. Blondel, par différents procédés, en particulier, en mettant sur le réseau des moteurs synchrones. A la vérité il peut arriver que les clients refusent de tels moteurs et que l'exploitant du réseau se trouve obligé d'en placer sans autre but que de compenser les effets de l'impédance. C'est ce qui a lieu à Bremgarten où l'on voit en effet un moteur tournant à vide ; mais la dépense qui en résulte est très faible et dans toute installation il faut bien faire quelques sacrifices d'un côté, pour retirer des avantages d'un autre ; le point important est que ceux-ci dépassent de beaucoup ceux là. Dailleurs, ajoute M. Mengarini, l'emploi d'un moteur synchrone n'est qu'un palliatif destiné à disparaître quand on aura trouvé, comme le demande M. Blondel, un bon condensateur industriel. Or, des expériences sont faites sur ce sujet et bien qu'il ne puisse donner des détails sur les résultats obtenus, les essais n'étant pas encore terminés, il peut cependant annoncer qu'il existe aujourd'hui deux condensateurs répondant aux exigences industrielles, de 2 microfarads chacun et n'absorbant que 1 pour 100 de l'énergie par suite de l'hystérésis électrostatique. Aussi la conclusion de M. Mengarini est elle absolument opposée à celle de M. Thury : l'avenir est aux courants alternatifs pour les distributions à très grande distance.

M. *Thury* reprend la parole et fait valoir en faveur du courant continu l'avantage d'un meilleur rendement et celui d'une plus grande facilité d'isolement.

M. *Hillairet* est d'avis que le courant alternatif et le courant continu peuvent se développer parallèlement et qu'il est bien difficile de dire aujourd'hui lequel des deux l'emportera. Le courant alternatif présente l'avantage de ne demander que des transformateurs inertes et, conséquemment, n'exigeant qu'un entretien insignifiant ; il a aussi celui de donner dans les moteurs un couple de démarrage plus grand, pour une même dépense d'énergie ; quant à ses inconvénients ils sont en partie supprimés et sont bien près de l'être complètement, d'après ce qui a été dit précédemment. Le courant continu possède l'avantage d'une plus grande simplicité de distribution ; il a également celui d'une plus grande facilité d'isolement ; quand à l'inconvénient d'exiger des collecteurs aux génératrices et aux moteurs il est bien faible, surtout aux hautes tensions, les difficultés de construction diminuant à mesure que la tension augmente.

Après cette communication qui semble mettre d'accord les partisans des deux espèces de courants, M. *Thury* prend de nouveau

a parole. Il expose les deux procédés qui peuvent être employés pour transformer le courant à intensité constant et à potentiel variable d'une distribution en série en un courant secondaire à potentiel constant pour l'élairage. L'un consiste tout simplement à placer sur le courant primaire un moteur actionnant une dynamo à potentiel constant; son rendement est au plus de 85 pour 100. L'autre, employé à Brescia, consiste à prendre un transformateur rotatif et à régler, soit à la main, soit automatiquement la tension du courant secondaire ; ce procédé donne un rendement de 85 à 88 pour 100 et, pour cette raison, M. Thury le préfère au précédent.

M. *Kolben* reprend la défense des courants alternatifs. Les inconvénients du courant déwatté sont, dit-il, en grande partie supprimés dans les installations récentes ; les efforts des constructeurs auront pour effet d'augmenter les rendements des moteurs et des générateurs, déjà très satisfaisants ; le rendement total d'une installation à courants alternatifs est tantôt supérieur à celui d'une installation à courant continu, tantôt inférieur, mais dans ce dernier cas la différence n'est pas aussi grande que le croit M. Thury ; la consommation d'énergie au démarrage des moteurs à courants alternatifs n'est pas aussi exagérée qu'on le dit souvent ; enfin le couple de démarrage de ces moteurs peut être cinq et six fois plus grand que celui d'un moteur à courant continu de même puissance.

M. *Thury* répond que la différence de rendement d'une installation à courants alternatifs ou à courant continu peut être beaucoup plus grande que le pense M. Kolben. Dans une installation qu'il a étudiée, cette différence était de 10 pour 100 en faveur de l'alternatif. Quant à l'énergie perdue au démarrage dans les distributions par courants alternatifs il est évident que dans certains cas elle peut n'avoir que peu d'importance ; mais si les moteurs démarrent souvent, comme par exemple les moteurs actionnant les turbines de sucreries, cette perte peut devenir considérable et dans ces conditions la meilleure solution est d'employer du courant continu en série.

M. *Hoor-Tempis*, professeur à Buda-Pest, chef du laboratoire de Ganz et Co, appuie les observations de M. Kolben.

M. *Rothert* fait alors une communication « Sur une nouvelle machine pour distribution à trois fils » sur laquelle nous reviendrons dès la publication officielle des travaux du Congrès.

Comme le fait remarquer M. *Palaz*, en remerciant les membres du Congrès qui ont bien voulu communiquer les résultats de leur expérience, la conclusion de cette longue discussion est... qu'il n'y a pas lieu de conclure.

Les courants alternatifs et le courant continu conservent donc, après comme avant la séance, les mêmes partisans et les mêmes adversaires.

PROTECTION
DES
LIGNES A HAUTE TENSION
CONTRE LES DÉCHARGES ATMOSPHÉRIQUES

Cette question, la dernière à l'ordre du jour des séances du Congrès, est mise en discussion dans la séance du matin du samedi 8 août, tenue dans l'amphithéâtre du pavillon Raoul Pictet.

M. *Chavannes*, rapporteur, indique sommairement les dégâts que causent les coups de foudre dans les installations électriques et les moyens préconisés pour s'en préserver. Il y a, dit-il, faisant allusion à la théorie des deux fluides, deux électricités, l'agréable et la désagréable ; l'ingénieur produit la première ; la seconde, qui tombe des nues, vient souvent contrecarrer son œuvre, la gêne ou la détruit ; il faut donc s'en préserver et, pour cela, la conduire à la terre.

Il fait remarquer que dans toute installation il y a toujours un conducteur qui est plus souvent frappé par la foudre que les autres ;

c'est problablement parce qu'il offre le chemin le plus facile, et le rapporteur en conclut que pour diminuer les dégâts, il faut offrir à la foudre un chemin facile en disposant autant que possible les conducteurs en ligne droite, ou, s'il y a impossibilité, en arrondissant les angles. Dans le même but il recommande de placer les parafoudres et les plaques de terre immédiatement l'un à la suite de l'autre, d'éloigner les conducteurs d'au-moins 50 cm afin d'éviter les sauts d'étincelles, de placer sur les lignes des bobines d'induction, de multiplier les parafoudres et de munir les poteaux de paratonnerres à pointes. Enfin dans le cas des courants alternatifs, il estime que le meilleur moyen de préservation est de mettre tous les pôles à la terre au moyen de l'eau.

M. *Kapp* à qui M. Palaz a remis la présidence de la séance, rappelle que la question a été reconnue de première importance par les ingénieurs allemands et qu'ils ont nommé une commission chargée d'enregistrer les accidents causés par les orages. Aussi, il estime que la discussion de cette question dans un Congrès international ne peut qu'avoir une heureuse influence sur le développement des moyens de protection ; mais comme le sujet relève plus du domaine de l'observation que de celui de l'expérience, il invite les membres du Congrès désirant prendre part à la discussion à se limiter à la relation de faits observés.

M. *Palaz* dit que l'Association suisse des Électriciens a également nommé une commismission pour enregistrer et étudier les dégâts causés par la foudre et il croit qu'il serait utile que des commissions de ce genre soient instituées dans tous les pays.

Il y a un point qui lui paraît devoir attirer tout spécialement l'attention du Congrès : c'est de savoir s'il convient d'isoler ou ne pas isoler les bâtis des machines. Personnellement il est plutôt partisan d'un isolement parfait des générateurs, transformateurs et moteurs, mais comme on a également obtenu d'excellents résultats en reliant tous ces appareils à la terre, il invite les électriciens présents à indiquer les avantages et les inconvénients qu'ils ont observés en employant l'un et l'autre procédé.

M. *Thury* déclare qu'après avoir tout d'abord pratiqué le procédé du non isolement il a adopté, lors de la construction de lignes à haute tension et à grande distance, l'isolement parfait des diverses parties des installations et qu'il n'a qu'à s'en louer. Il y a bien l'inconvénient, dans ce dernier cas d'être obligé d'isoler également le personnel chargé de la conduite des installations, mais cette obligation peut être remplie sans aucune difficulté soit au moyen de l'asphalte, soit à l'aide d'isolateurs en porcelaine.

Il décrit ensuite plusieurs parafoudres automatiques.

M. *Hillairet*, fait observer qu'il n'y a pas seulement à se préoccuper des coup de foudre directs, mais qu'il faut encore tenir compte de l'influence des orages éloignés. Le plus souvent un coup de foudre direct ne se propage pas jusqu'à l'extrémité de la ligne, soit à cause de l'impédance de celle-ci, soit plutôt à cause des pertes à la terre qui se produisent à chaque poteau, et, par suite, peut ne pas causer grand dommage aux installations. L'influence des orages éloignés peut dans certains cas produire dans les conducteurs des courants du même ordre de grandeur que les courants industriels qu'il s'agit de conduire et est, par cela même, souvent aussi dangereuse pour les installations que les coups de foudre directs. Il ajoute que dans les installations qu'il a faites, il a toujours pratiqué le système de l'isolement et qu'il s'en est très bien trouvé.

L'heure avancée ne permettant pas de prolonger la discussion, M. *Palaz* propose que le Congrès exprime le vœu qu'à l'exemple de l'Association suisse des Électriciens, il soit fait dans chaque pays un formulaire type qui sera envoyé à toutes les usines électriques et sur lequel seront consignés tous les dommages causés par la foudre.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité et la séance est levée ([1]).

QUELQUES REMARQUES SUR LE COURANT DÉWATTÉ

DANS LES DISTRIBUTIONS PAR COURANTS ALTERNATIFS

PAR A. BLONDEL

I. — CAUSES

L'une des plus grandes difficultés que l'on rencontre dans les distributions à courants alternatifs simples ou polyphasés est la présence d'un décalage de phase entre le courant et la tension du réseau et des génératrices. Lorsque le cas se présente, il est commode pour les calculs et les raisonnements de remplacer le courant brut par deux composantes de même période, l'une en phase avec la tension, l'autre en quadrature ([2]) ; on donne, comme on le sait, à la première le nom de courant *watté* et à la seconde le nom de courant *déwatté*. On se propose ici d'appeler l'attention sur les questions que soulève la présence de ce courant.

Remarques sur la définition

Tous les appareils donnant lieu à du décalage peuvent être considérés comme absorbant du courant watté, réellement utile, et produisant dans la distribution un courant parasite déwatté, positif ou négatif, qui ne produit ni n'absorbe d'énergie.

Il convient de ne pas confondre ce courant déwatté qui a même période que le courant utile avec des courants parasites de période différente qui, eux aussi, ne mettent en jeu aucune énergie, mais ne produisent pas les mêmes effets que le courant déwatté ([1]).

On appellera donc ici courant déwatté uniquement un courant de même phase que la f. é. m. et on supposera, pour s'en tenir à la première approximation, les variables sinusoïdales.

Origines principales

Dans cette hypothèse, les deux origines principales du courant déwatté sont la production des champs ou des fuites magnétiques et la charge des capacités. Tous les appareils dans lesquels le courant alternatif est chargé de produire, non seulement du travail mais aussi un champ magnétique, empruntent au réseau du courant déwatté pour cet usage ; tous ceux dans lesquels le courant charge des électrodes séparées par un diélectrique ou un électrolyte fournissent au réseau du courant déwatté. Si on rapporte les phases de ces courants à celle du courant de travail, le premier est en retard de $\frac{\pi}{2}$, le second en avance de $\frac{\pi}{2}$.

Le second est, en général, sans inconvénient pour la distribution ([2]) ; dans le cas d'un réseau souterrain travaillant à faible charge, il exige bien un courant plus fort qu'il ne serait nécessaire ; mais dans ce cas la perte par effet Joule dans la canalisation est faible et compensée, dans une certaine

([1]) En rendant compte, dans le précédent numéro, de la discussion relative aux unités photométriques, nous avons cité, comme faisant partie de la Commission nommée pour étudier cette question, MM. von Hefner Hospitalier, Janet ; ajoutons que cette commission comprenait également MM. Arno, Kapp, de Kovalski, Palaz et Rousseau.

([2]) Cette décomposition si commode semble avoir été indiquée pour la première fois par M. V. Dolivo Dobrowolsky.

([1]) Beaucoup d'auteurs croient que le fait d'un appareil présentant un facteur de puissance plus petit que l'unité indique nécessairement la production d'un courant en quadrature combiné avec le courant watté ; mais c'est une erreur car cette réduction des watts réels par rapport aux watts apparents peut provenir simplement de la présence d'une harmonique de période plus courte, laquelle, d'après le théorème de Fourier, ne peut donner aucune énergie.

([2]) On ne parle pas ici des dangers de rupture de l'isolant des câbles par résonnance, c'est à dire par une surélévation de voltage considérable dûe à l'effet du condensateur formé par les deux conducteurs, en présence et le diélectrique qui les sépare. Cet accident est d'ailleurs causé ordinairement par les harmoniques supérieures quand on a une génératrice à f. é. m. trop différente de la forme sinusoïdale, et non par la composante déwattée de la période normale.

mesure, par le fait que le courant déwatté en avance produit dans les génératrices un champ en phase avec le champ inducteur, ce qui permet de réduire l'excitation.

Au contraire, le courant déwatté magnétisant est extrêmement gênant par son importance et ses effets, et on peut dire sans exagération qu'il est la plaie des distributions par courant alternatif. C'est donc de celui-ci seul qu'on s'occupera ici, en cherchant surtout les moyens de le réduire ou d'en pallier les inconvénients.

Proportion du courant déwatté

La proportion du courant magnétisant au courant total est naturellement très variable suivant les appareils employés et leur usage.

Pour les bons transformateurs on peut admettre, suivant les types et les puissances, 2 à 5 pour 100 du courant total en charge.

Pour les moteurs asynchromes la proportion monte à 25 ou 30 pour 100 au minimum dans les moteurs qui doivent démarrer sous charge ; l'expérience et la théorie (1) montrent d'ailleurs que dans les conditions ordinaires de faible saturation, le couple et la stabilité sont proportionnels au courant magnétisant à vide. Aussi, voit-on certains appareils de bonne marque destinés aux engins de levage présenter un courant à vide atteignant 50 pour 100 du courant de pleine charge.

Dans les transformateurs et plus encore dans les moteurs, les fuites magnétiques augmentent beaucoup la proportion du courant déwatté sans aucune utilité pour la production du champ ; cet effet est bien sensible aux fortes charges et au moment du démarrage ; dans le cas du démarrage sans résistances il prend une importance énorme, le courant absorbé à ce moment étant presque entièrement déwatté, bien que le champ magnétique utile soit inférieur à sa valeur normale (2). On ne saurait donc, pour l'évaluation du courant déwatté, s'en rapporter à l'évaluation du courant *magnétisant* seul, qui n'en est qu'une fraction.

Les bobines de réglage des lampes à arc donnent également lieu à un courant déwatté (sensiblement le même dans le réglage par bobines en série et dans celui par bobines en dérivation), et qu'il ne faut pas attribuer à l'arc à courant alternatif ; celui-ci n'absorbe pas, en général, de courant déwatté proprement dit, contrairement à ce qu'on croît trop souvent, mais il donne lieu fréquemment à des déformations de l'onde équivalentes à des harmoniques supérieures n'absorbant pas d'énergie.

Une dernière cause de production de courant déwatté réside dans la self-induction des lignes de transport, car il faut un certain courant pour créer le champ électro-magnétique autour des conducteurs.

Cette composante déwattée dépend de la différence de phase qui existe entre le courant consommé et la tension au bout de la ligne. Dans le cas le plus simple, où il s'agit d'une ligne de résistance R et d'inductance L alimentant à son extrémité au voltage U des appareils sans induction, la tension à l'origine présentera, par rapport au courant, un décalage en avance ψ donné par

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\omega L}{\frac{U}{I} + R}$$

et, par suite, on aura aux barres des générateurs, outre un courant watté

$$I \cos \psi = \frac{U + RI}{\sqrt{(\omega L)^2 + \left(\frac{U}{I} + R\right)^2}}$$

un courant déwatté

$$I \sin \psi = \frac{\omega + L I}{\sqrt{(\omega L)^2 + \left(\frac{U}{I} + R\right)^2}}.$$

Dans le cas ordinaire, le courant ainsi produit est très faible et l'inductance des lignes n'intervient guère pratiquement que par les

(1) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 297.

(2) Il en résulte, comme on le sait, une baisse brusque et considérable du voltage, qu'on n'évite qu'à l'aide d'artifices qu'il est inutile de rappeler ici.

chutes de tension qu'elle produit, comme on le verra plus loin.

La proportion du courant déwatté dans un réseau croît très vite, comme on le sait, lorsqu'il y a beaucoup d'appareils fonctionnant à vide où à faible charge ; c'est ce qui le rend si gênant, même dans les distributions d'éclairage pur, lorsque les transformateurs restent constamment branchés. A certaines heures du jour, le facteur de puissance peut s'abaisser à 0,70 ; il descend même plus bas sur certains réseaux alimentant des transformateurs de mauvaise qualité.

Malgré cela on n'avait prévu d'abord les inconvénients spéciaux du courant déwatté, qu'on traitait comme un courant inutile plutôt que comme un courant nuisible, et il a fallu l'introduction des moteurs d'induction sur les réseaux pour bien faire saisir les conséquences fâcheuses du décalage.

II. Inconvénients

Les inconvénients du courant déwatté sont de deux sortes : d'une part il donne lieu à une augmentation inutile du courant, de l'autre il produit des réactions nuisibles dans les appareils et organes présentant de l'inductance.

Du premier point de vue il y a peu de chose à dire ; il est bien évident que, si au courant utile I_w on ajoute une composante déwattée, les pertes par effet Joule dans les lignes et machines, étant proportionnelles à $I_w^2 + I_d^2$, se trouvent considérablement augmentées sans qu'il en soit de même de la puissance. D'où nécessité d'augmenter la section des canalisations et des enroulements, et réduction du rendement possible à puissance égale.

Le second inconvénient est plus grave ; il se produit à la fois dans les lignes, les transformateurs et les générateurs.

Lignes

Tant que l'inductance d'une ligne est négligeable, peu importe pour elle que le courant soit watté ou déwatté. Au contraire, dès que la ligne a un peu d'inductance, le courant déwatté donne lieu à des chutes de voltage qui peuvent dépasser les prévisions.

Il convient, à ce propos, de bien définir la chute de voltage sur une ligne alternative. Ce n'est pas, comme quelques auteurs le croient encore, la différence de potentiel entre les deux extrémités d'un feeder mesurée à l'aide d'un fil pilote comme dans une distribution à courant continu : cette chute-là, égale au produit du courant par l'impédance de la ligne, ne présente *aucun intérêt* dans une distribution. Ce qu'il faut calculer et mesurer, c'est la différence entre la *tension de distribution* à l'origine U et la même tension U' à l'extrémité de la ligne ou du feeder.

Supposons qu'il s'agisse, par exemple, d'une ligne triphasée, équilibrée, dans laquelle on mesure les tensions de distribution par rapport au point neutre, et appelons Z l'impédance d'un des 3 conducteurs, I le courant qui le traverse ; la tension à l'extrémité est donnée par l'égalité *géométrique*

$$\overline{U'} = \overline{U} - \overline{ZI};$$

tandis que le potentiel absolu à l'extrémité d'un des conducteurs est donné en fonction du potentiel absolu à l'origine de celui-ci par l'égalité *algébrique*

$$V' = V - ZI.$$

U' dépend donc du décalage du courant, tandis que V' en est indépendant ; c'est là une distinction qu'il ne faut pas oublier, car la différence U' — U est ainsi, en général, beaucoup plus petite que V' — V.

Si le courant I consommé à l'extrémité de la ligne est décalé de l'angle ψ par rapport à U', on a la relation

$$U' = \sqrt{U^2 - (ZI)^2 - 2\,UZI \cos(\gamma - \varphi)},$$

en appelant γ un angle défini en fonction de la réactance K de la ligne par la relation $\operatorname{tg} \gamma = \frac{K}{R}$. La différence de phase ψ entre U' et U est donnée par

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Z\,I \sin(\gamma - \varphi)}{U + Z\,I \cos(\gamma - \varphi)}.$$

En pratique, tant que la fréquence ne dépasse pas 50, et la perte d'énergie relative dans la ligne 0,10, le calcul montre qu'on ne commet qu'une faible erreur (< 10 pour 100) sur la valeur de la perte de charge en remplaçant l'expression rigoureuse ci-dessus par la suivante (¹)

$$U' = U - RI\cos\varphi - KI\sin\varphi$$
$$= U - RI_w - KI_d.$$

On voit ainsi que l'inductance de la ligne aux fréquences 25 à 50 ne se fait guère sentir que s'il y a du courant déwatté ; celui-ci augmente alors très vite la perte de charge. Les mêmes formules s'appliquent aux lignes monophasées en doublant les valeurs de R et de K, à diamètre et écart de conducteurs égaux.

On remarquera, en passant, que si la ligne a une réactance négligeable et qu'on puisse s'en tenir aux deux premiers termes, la perte *en volts* devient sensiblement la même que pour un courant continu de même puissance $U' I_w$, et cependant la perte en énergie $\frac{R I_w^2}{\cos^2\varphi}$ est plus forte dans le rapport $\frac{1}{\cos^2\varphi}$. C'est qu'il n'y a, dans une ligne à courants alternatifs, aucune relation simple entre ces deux pertes.

Pour calculer une ligne de transport, on peut employer la formule suivante, déduite de celle de la page précédente, et où η exprime le rendement en énergie désiré

$$\frac{U}{U'} = \sqrt{1 + \left(\frac{1-\eta}{\eta\cos\varphi\cos\gamma}\right)^2 + 2\left(\frac{1-\eta}{\eta\cos\varphi\cos\gamma}\right)\cos(\gamma-\varphi)},$$

elle donne la valeur de la tension nécessaire à l'origine en fonction de la tension de distribution à l'arrivée, ou inversement.

Génératrices

L'effet du courant déwatté est désastreux au point de vue des génératrices ; d'une part l'augmentation de courant apparent qui en résulte limite à une plus faible valeur le courant watté et, par suite, la puissance qu'on peut leur faire produire ; de l'autre, le voltage varie avec la charge dans des proportions considérables. Cela tient à ce que les ampères-tours d'induit dû au courant watté donnent un flux de réaction décalé de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au flux inducteur, tandis que les ampères-tours dûs au courant déwatté sont exactement opposés à ceux de l'inducteur. Un alternateur pour lequel le flux de réaction pour un courant donné est la moitié du flux inducteur, donne par l'effet de cette réaction une chute de voltage relative de $1 - \frac{\sqrt{3}}{2} =$ 0,134 si le courant est watté, et de 0,50 s'il est déwatté.

D'une façon générale la f. é. m. nécessaire pour maintenir aux bornes d'un alternateur d'impédance Z une tension de distribution V a pour valeur pratique (¹)

$$E = \sqrt{(U + ZI_d)^2 + (ZI_w)^2}.$$

La composante ZI_d se mesure facilement comme l'a indiqué M. Behn-Eschenburg par la marche de l'alternateur en court circuit.

Cette baisse de voltage, due au courant déwatté, suffit à rendre impossible la marche sur des moteurs pour les alternateurs d'éclairage des anciens types, faute de moyens d'élever assez la f. é. m. induite ; beaucoup de réseaux anciens équipés en matériel Ganz, Thomson-Houston, etc., seraient obligés de remplacer leurs machines ou d'y adjoindre des survolteurs si leur clientèle se mettait à employer des moteurs asynchrones.

En admettant qu'on puisse relever le vol-

(¹) Rigoureusement on aurait

$$U = \sqrt{(U' + RI_w + KI_d)^2 + (KI_w - RI_d)^2}.$$

Cf. *Inductance des lignes aériennes*, dans l'*Éclairage Électrique*, octobre 1894.

(¹) Rigoureusement, en appelant tg *a* le *facteur de réactance* de l'armature (rapport de la réactance à la résistance),

$$E = U\sqrt{1 + \left(\frac{Z_1 I}{U}\right)^2 + \frac{2Z_1}{U}(I_w\cos a + I_d\sin a)}.$$

Cf. *Théorie des Moteurs synchrones*. A. Lahure, éditeur.

tage à la valeur voulue, on n'en éprouve pas moins une énorme perte de puissance. Car la puissance vraie est UI_w au lieu que la puissance disponible sur des lampes serait sensiblement.

$$I \times \sqrt{E^2 - (ZI)^2}.$$

Le rapport est égal à

$$\frac{UI_w}{I\sqrt{U^2 + 2\,U\,Z\,I_d}} = \frac{I_w}{I}\,\frac{1}{\sqrt{1 + 2\frac{ZI_d}{U}}}.$$

Si l'on a $I_w = I_a = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et $\frac{ZI_d}{U} = 0,10$, ce qui est très faible, on trouve ainsi que la puissance est réduite dans le rapport 0,65 ; on admet en pratique 0,70, c'est à dire qu'on compte sur une réduction de puissance de 30 pour 100 sur les génératrices par l'effet du courant déwatté.

Enfin, dans les alternateurs diphasés, le courant déwatté augmente beaucoup la réaction d'un circuit sur l'autre ; cette réaction, qui serait nulle s'il n'y avait aucun décalage de phase dans la machine, peut ainsi devenir très sensible, ce qui fait disparaître le principal avantage revendiqué en faveur du système diphasé.

Transformateurs.

Si l'on a affaire à des transformateurs dont le primaire est alimenté à potentiel constant, les secondaires se comportent en gros comme des génératrices ayant une f. é. m. induite constante, égale à la tension primaire multipliée par le coefficient de transformation $\frac{N_2}{N_1}$; les mêmes phénomènes se produisent donc que dans les génératrices, c'est à dire réduction de puissance d'abord, et, en outre, baisse de voltage si le transformateur présente de la self-induction sous forme de fuites. Les mêmes formules que pour les alternateurs sont applicables à la seule condition d'attribuer au secondaire une inductance fictive égale à l'effet résultant des inductances primaire et secondaire L_1 et L_2, c'est à dire

$$L = L_2 + \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 L^1.$$

C'est le procédé qu'applique, sous une autre forme, M. Kapp pour le calcul des pertes de charge ; il détermine aussi la self-induction en mettant l'appareil en court circuit, de la même manière qu'on l'a indiqué ci-dessus pour les alternateurs [1].

Si l'on considère, par exemple, un transformateur ayant une réactance apparente telle que la chute de potentiel produite par elle soit de 4 pour 100 du courant watté à pleine charge, et qu'on le mette ensuite sur un réseau consommant même courant apparent, mais formé de courants wattés et déwattés égaux, on trouve une chute de potentiel de plus de 15 pour 100. Et comme le courant primaire reste encore décalé, on aura en outre toujours affaire aux mêmes inconvénients pour les génératrices qui les alimentent.

D'une manière générale, tout appareil présentant de la self-induction placé en série sur le circuit donne lieu, lorsqu'il y a du courant déwatté, à une chute de potentiel hors de proportion avec celle qu'il donnerait sur du courant watté seul.

On doit donc attacher la plus grande importance à tous les procédés qui permettront de réduire cette composante nuisible. Avant de les examiner, on signalera ici un nouveau grief peu connu contre le courant déwatté.

Obstacles apportés par le courant déwatté à la distribution en série,

Jusqu'ici, en courant alternatif, on ne connaît la distribution en série que pour l'éclairage, et il n'existe pas d'application analogue à la distribution de force de Gênes. Une distribution de ce genre par courant alternatif présenterait les mêmes avantages, avec les collecteurs de dynamos en moins ; elle permettrait d'employer des moteurs à bas voltage pour lesquels la construction des moteurs

[1] On obtient ainsi une approximation suffisante pour la pratique, grâce à la faible valeur des fuites dans les transformateurs à circuit fermé ; mais dans les transformateurs à circuit magnétique ouvert, on ne peut plus négliger complètement le décalage qui existe entre les flux primaire et secondaire.

asynchrones est particulièrement favorable et elle éviterait tout emploi de transformateurs.

Mais deux difficultés s'opposent jusqu'ici à cette solution qui, si elle réussissait, enlèverait au courant continu sa raison d'être dans les grands transports : d'une part la difficulté de faire démarrer les moteurs d'induction monophasés [1] et, de l'autre, la présence d'un courant déwatté exagéré.

Si on admet que la première difficulté ait été résolue et le moteur lancé, on constate que la variation de charge peut être obtenue seulement par variation de décalage entre le courant et la force contre-électromotrice du moteur ; ce décalage est voisin de $\frac{\pi}{2}$ à vide comme dans les moteurs en dérivation, mais on démontre facilement [2] qu'il ne peut descendre au-dessous de 45° sans que le moteur ne décroche.

Une distribution en série par moteurs asynchrones aurait donc un facteur de puissance déplorable compris entre 0 et 0,70, c'est à dire un courant déwatté toujours supérieur au courant utile. L'emploi de moteurs synchrones donnerait de meilleurs résultats, car pour eux la limite de stabilité à intensité constante correspond au décalage nul ; mais ils seraient loin de présenter la même élasticité de charge que les moteurs en dérivation et le démarrage reste peu facile.

(1) Le démarrage pourrait être obtenu à l'aide de moteurs d'un nouveau type dans lesquels on ferait agir le circuit principal par induction, non seulement sur le secondaire ordinaire, mais encore sur un autre enroulement présentant, par rapport au primaire, un certain coefficient d'induction mutuelle et fermé sur lui-même. On peut, en disposant convenablement la position et les nombres de spires de ce second enroulement, faire qu'il donne sous l'action du premier et en combinaison avec lui un champ tournant suffisant pour un démarrage sous faible charge ; c'est là, probablement un dispositif plus simple et meilleur que le biphasage par une self-induction ou une capacité en dehors du moteur, suivant la pratique actuelle.

On parle ici seulement de moteurs monophasés parce que la distribution en série ne peut évidemment s'appliquer d'une manière rationnelle qu'aux courants monophasés. Si l'on employait, par exemple, des courants triphasés, la tension entre les trois conducteurs irait en diminuant depuis l'origine de la ligne où elle serait très élevée et très dangereuse jusqu'à l'extrémité où elle s'annulerait ; on ne réaliserait pas d'économie de cuivre et on courrait des dangers de foudroiement comme dans une distribution en parallèle.

(2) *Lum. Élect.*, t. L, p. 616.

III. Remèdes et palliatifs

Pour faire disparaître les inconvénients signalés ci-dessus, on a imaginé diverses solutions qui constituent presque toujours des palliatifs plutôt que des remedes ; elles consistent, soit à éviter l'emploi d'appareils à décalage, soit à compenser les courants déwattés à l'aide d'appareils spéciaux sur le réseau, soit à établir les génératrices de façon à réduire la réaction dont elles sont le siège, soit enfin à supprimer la cause même du mal en évitant la présence du courant déwatté dans les appareils qui en occasionnent le plus.

Emploi d'appareils sans décalage.

Les transformateurs exigent tous du courant magnétisant, et l'on n'a pas à espérer en construire qui n'en demandent pas. Mais on reste maître de faire varier dans certaines limites la proportion du courant magnétisant au courant total. C'est là un sujet qui a été fort discuté, notamment par Swinburne, V. Dolivo Dobrowolsky, Picou, Kapp, etc., et qu'on n'abordera pas ici [1]. On remarquera seulement que l'étude n'en est pas complète si l'on n'y fait pas entrer en ligne de compte le prix de revient de l'accroissement de puissance des génératrices exigé par le courant déwatté, et l'accroissement de dépenses d'excitation.

Pour les moteurs polyphasés on a le choix entre les moteurs asynchrones qui exigent du

(1) Somme toute, le meilleur moyen qui existe actuellement est encore de proportionner le courant déwatté au courant utile, en ne mettant les transformateurs en service qu'au fur et à mesure de l'accroissement de consommation ; ce qu'on obtient à l'aide de sous-stations, ou mieux de feeders primaires, aboutissant chacun à un transformateur dont on met en service le secondaire par commande à distance. Le système du transformateur individuel d'abonné est barbare au point de vue qui nous occupe.

courant déwatté et les moteurs synchrones qui s'en passent, et peuvent même en restituer pour la compensation des autres.

Les premiers sont d'un rendement un peu meilleur et présentent l'avantage de démarrer sous charge ; mais cette propriété n'est acquise, comme on l'a dit plus haut, qu'au prix d'un courant déwatté important. Encore faitelle complètement défaut dans les moteurs monophasés ordinaires, qui exigent un courant énorme pour démarrer assez péniblement à vide, comme l'ont montré, en France, quelques applications malheureuses, notamment au port du Havre. On peut espérer améliorer ces conditions, soit par l'artifice indiqué plus haut, soit par celui récemment décrit par M. Langdon-Davies, dont le moteur semble plein de promesses.

Les seconds ne démarrent pas sous charge ; mais, à vide, on peut les faire démarrer très convenablement, avec ou même sans circuits spéciaux, dans les pièces polaires ; même avec du courant monophasé, biphasé par un transformateur convenable, M. Labour a pu, sans dépasser le courant normal pris au réseau, obtenir, avec ses moteurs synchrones (Société d'Éclairage électrique), des démarrages à vide meilleurs que ceux réalisés par un moteur d'induction employé précédemment au même usage.

Le moteur synchrone exige malheureusement, pour présenter une bonne stabilité, une faible self-induction et, par suite, un grand entrefer, ce qui est défavorable au démarrage par courants induits ; mais on peut réaliser un juste milieu en employant des pièces polaires plus étroites ; on peut aussi chercher à construire des moteurs (du type disque en particulier) dans lesquels on rapproche, au moment du démarrage, les inducteurs de l'induit, et on les ramène ensuite à l'écartement normal.

Il y a donc lieu, semble-t-il, de réserver le moteur d'induction pour l'emploi de courants polyphasés dans les cas où on doit démarrer sous charge et, partout ailleurs, de conserver le type synchrone convenablement perfectionné ; c'est du moins l'intérêt des exploitants de réseaux.

Compensation du courant déwatté sur le réseau ou à la station.

Un autre procédé qui est, en apparence, le plus séduisant, consiste à disposer à la station, ou plus rationnellement sur le réseau, aux environs des points de consommation du courant déwatté, des appareils capables de produire cette même espèce de courant au prix d'une faible dépense d'énergie. M. Swinburne et M. Boucherot ont depuis longtemps préconisé dans ce but l'emploi des condensateurs ; il suffirait de donner à ceux-ci une capacité C suffisante pour que le courant qu'ils fournissent $I = \omega C U$ soit égal au courant déwatté qu'il faut annuler. Mais, malgré les efforts des constructeurs et tout en espérant que le travail persévérant de ces chercheurs sera couronné de succès, le condensateur industriel n'a pas encore fait son apparition définitive, au moins à la connaissance de l'auteur. Peut-être pourrait-on les remplacer en attendant par des polariseurs placés aux bornes du secondaire des transformateurs. Ces appareils ne peuvent fonctionner à haut voltage, mais à bas voltage ils ont une capacité énorme (1).

Il serait possible, au prix d'une perte de puissance, d'en adjoindre un à chaque transformateur sans grande complication. C'est une question à débattre que de savoir si le bénéfice ainsi réalisé sur la puissance de l'installation suffirait à couvrir les dépenses d'énergie dans les polariseurs.

(1) La capacité d'un élément de polariseur composé de deux électrodes semblables ayant chacune une surface S d'un électrolyte, a pour valeur, comme on le sait, en appelant K la capacité de polarisation

$$C = \frac{KS}{2}$$

K varie avec la f. é. m. aux bornes et croit rapidement, quand elle approche de la f. é. m. de décomposition qu'il faut se garder d'atteindre.

Pour le platine dans l'eau acidulée, K atteint 10 à 30 microfarads par cm^2 ; pour le fer et la soude, il peut aller beaucoup plus haut encore.

La construction de ceux-ci devrait subir quelques modifications ; le fer et la soude employés actuellement donnent de belles capacités à faible prix, mais les plaques de fer aux fréquences ordinaires donnent des effets d'induction nuisibles, et on devrait leur substituer le zinc ou un métal analogue.

Un autre procédé plus mécanique, préconisé d'abord par Swinburne, et Dolivo Dobrovolsky, et qui jouit d'une réelle faveur actuellement, est l'addition sur le réseau de moteurs synchrones et surexcités, tournant, au besoin, à vide.

Si on appelle I_w le courant watté consommé par un semblable moteur alimenté par un réseau à la tension U, il suffit pour lui faire débiter en même temps un courant déwatté I_w, qui donnera un courant résultant I, de forcer l'excitation, de façon à donner à la f. é. m. E induite par le champ inducteur seul la valeur

$$E = U\sqrt{1+\left(\frac{ZI}{U}\right)^2 + \frac{2Z}{U}(I_d \sin\beta - I_w \cos\beta)}$$

en appelant tg β le facteur de réactance du moteur. C'est là encore un des avantages qu'on trouve à placer chez les abonnés d'un réseau des moteurs synchrones plutôt qu'asynchrones toutes les fois que c'est possible.

Lorsqu'il n'en existe pas, on est forcé de placer aux points les plus mauvais du réseau des moteurs tournant à vide ; c'est le seul moyen dont on dispose dans certains cas, mais il est onéreux. En effet, tant qu'on se préoccupe seulement de réduire le courant total à une valeur peu différente du courant watté, il n'est pas nécessaire de compenser tout le courant déwatté, un décalage de 20° à 30° n'augmentant pas sensiblement le courant résultant. Mais quand il s'agit de supprimer la réaction sur les génératrices, il faut compenser exactement, et cela exige dans les distributions de force des moteurs synchrones d'une importance égale au 1/4 ou au 1/3 de celle des moteurs asynchrones à compenser [1].

Palliatifs de l'effet du courant déwatté dans les alternateurs.

Depuis l'apparition des moteurs d'induction les effets du courant déwatté ayant rendu inapplicables les anciens alternateurs à forte réaction d'induit on adopte des générateurs à champ très puissant portant des induits très peu garnis de fil, de façon que la variation de voltage entre zéro et la pleine charge ne dépasse pas une faible fraction de la valeur normale, 15 pour 100 à 20 pour 100 lorsque l'alternateur travaille sur des moteurs, ce qui réduit la réaction à 4 ou 5 pour 100 au plus, sur des résistances mortes. On évite ainsi les à coups dans la tension de distribution, mais on utilise très mal les matériaux. En effet, la f. é. m. intérieure et la tension aux bornes doivent être dans un certain rapport pour assurer la meilleure utilisation du champ magnétique ; si l'on néglige la résistance de l'armateur devant sa self-induction, ce rapport a pour valeur

$$\frac{E}{U} = 2\cos\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$$

φ étant le décalage supposé connu du courant par rapport à la différence de potentiel aux bornes. Pour $\varphi = 30°$ par exemple, chiffre assez fréquent, la f. é. m. maxima devrait être $2 \cos 15° = 1,93$ fois plus forte que la tension normale. Même pour $\varphi = 0$, on devrait avoir 1,41.

On s'éloigne donc énormément des con-

(1) S'il s'agit de compenser le courant de transformateurs à circuit magnétique fermé, l'opération n'en vaut guère la peine en ce qui concerne la ligne, car dans ceux-ci le courant de perte consommé par l'hystérésis et les courants de Foucault est d'environ 0,70 du courant à vide ; les polariseurs, condensateurs ou moteurs, nécessitent de leur côté un courant watté qui ramène le courant total à peu près à la même valeur ; il y a cependant un avantage, c'est la réduction de réaction d'induit dans les alternateurs et une plus grande constance de voltage. Les moteurs synchrones tournant à vide avec un lourd volant sont d'ailleurs des égalisateurs précieux

ditions de maximum de puissance. En outre, l'emploi des larges entrefers et des pièces polaires peu développées augmente beaucoup le coefficient U de l'inducteur et, par suite le poids des noyaux et leur excitation (¹).

On sera obligé de s'en tenir à ces types tant qu'on n'aura pas trouvé de bon moyen d'annuler le courant déwatté, ou d'employer des procédés de compoundage perfectionnés.

M. Leblanc a récemment imaginé un dispositif très ingénieux qui permet de rendre ce compoundage automatique et, par suite, espère-t-il, de réaliser des alternateurs à forte réaction donnant la meilleure proportion de fer et de cuivre. Il consiste à construire pour l'alternateur une excitatrice excitée elle-même par les courants sortant de celui-ci et entraînée *synchroniquement* par un train d'engrenages commandé par l'arbre de la machine.

Supposons, pour simplifier, qu'il s'agisse d'alternateurs polyphasés.

L'armature de l'excitatrice est formée de deux anneaux calés tous deux sur un même arbre tournant à l'intérieur d'une culasse en tôle sans enroulements (²) par laquelle se ferme le flux ; l'un des anneaux porte un enroulement polyphasé inducteur alimenté par une dérivation prise aux bornes de l'alternateur, l'autre un enroulement polyphasé inducteur parcouru en série par le courant principal (¹).

Dans ces conditions les champs tournants produits dans les deux anneaux restent *fixes dans l'espace* et peuvent produire une f. é. m. proportionnelle à leur résultante dans un troisième enroulement induit bobiné sur les deux anneaux à la fois et muni d'un collecteur à courant continu.

Les nombres des spires des deux enroulements inducteurs et leur décalage sont choisis de façon que cette résultante soit toujours proportionnelle à la f. é. m. induite nécessaire.

Pour que cette solution soit parfaite, il faut que les inducteurs de l'alternateur ne soient pas saturés (non plus que l'excitatrice) et qu'ils puissent suivre assez vite les fluctuations de l'excitation; il faut donc qu'ils soient en tôle feuilletée ; moyennant quoi, on pourrait utiliser les alternateurs beaucoup mieux qu'aujourd'hui. L'avenir montrera s'il en est bien ainsi.

L'auteur avait imaginé il y a deux ans (²) une combinaison tout à fait analogue, mais un peu différente. Elle consiste dans l'emploi d'une excitatrice du genre Rechniewsky à faible entrefer dont les inducteurs, construits à la manière ordinaire, sont excités en dérivation juste assez pour produire le courant d'excitation de l'alternateur fonctionnant à vide; l'induit qui tourne encore synchroniquement avec l'alternateur, par une commande mécanique, porte deux enroulements, un enroulement à courant continu qui excite l'alternateur, et un enroulement compensateur semblable à celui de l'alternateur et parcouru par les mêmes courants ; on règle les nombres des *spires* et les points d'entrée de ce bobinage de façon que le champ de réaction produit par un courant déwatté ait la même di-

(¹) Certaines formes d'inducteurs qui présentent des pôles alternés très rapprochés, notamment l'ancien type de Lauffen-Francfort ne peuvent plus être recommandés pour ce motif.

Quant aux types à électro multiples ou à électro unipolaire du genre Mordey ou analogues, ils se valent au point de vue de la réaction d'induit et du prix des matériaux. Le premier peut être plus économique à cause du prix élevé des inducteurs massifs en acier ; mais le second type est le plus simple, le plus économique et le plus à la mode, parcequ'il permet d'avoir tous les fils fixes. On le construit ordinairement en forme de tambour (Thury, Œrlikon, Brown, Allgemeine, Ganz) ; la maison Sautter-Harlé a réalisé aussi avec beaucoup d'habileté, sur les données de l'auteur une forme nouvelle en disque avec noyau de fer à rainures, dont le succès fait honneur aux ingénieurs, MM. Jacquet et Rey, qui en ont dirigé la construction.

(²) En fait cette couronne porte cependant un enroulement égal et opposé à l'enroulement à courant continu de l'armature et destiné à annuler la réaction d'induit ordinaire suivant la méthode de Ryan.

(¹) Dans le cas d'un alternateur monophasé on ajoutera seulement dans les côtés de la culasse une cage d'écureuil pour produire un champ tournant.

(²) Cette solution, communiquée à diverses personnes à cette époque, n'a pas été encore publiée.

rection que celui des inducteurs et le renforce exactement dans la même proportion que la réaction d'induit correspondante de l'alternateur tend à affaiblir le champ inducteur de celui-ci ; en outre, on maintient le calage des balais *invariable* par un des artifices connus. Dans ces conditions, si les circuits magnétiques de l'alternateur et de l'excitatrice travaillent au-dessous du coude, il est facile de voir que l'on compense encore automatiquement toutes les réactions d'induit wattées ou déwattées.

La méthode de M. Leblanc, plus générale que celle de l'auteur, s'applique aussi aux alternateurs asynchrones imaginés par cet infatigable inventeur, il y a plusieurs années, et qui paraissent devoir entrer bientôt dans la pratique industrielle ; dans cette application, il place sur l'induit de l'excitatrice plusieurs balais au lieu d'un ; ceux-ci recueillent des courants polyphasés de période lente qu'il envoie dans l'inducteur de l'alternateur où ils produisent un champ tournant avec la vitesse juste suffisante (légèrement supérieure, comme on le sait, à celle du synchronisme).

La construction même des alternateurs asynchrones permettant les variations très rapides de champ, on pourrait réaliser ainsi le compoundage instantané de ces machines.

On pourrait obtenir aussi un effet analogue, en combinant la méthode de l'auteur avec l'emploi d'un champ excitateur tournant préconisé ci-dessus pour les moteurs et produit en déplaçant automatiquement les points d'entrée de l'enroulement spécial établi dans ce but.

Suppression directe du courant déwatté dans les moteurs

Il est plus intéressant de chercher à supprimer directement dans le moteur lui-même le courant déwatté.

On peut y arriver par plusieurs procédés que l'on va décrire et dont les deux premiers sont dus à notre savant confrère, M. Leblanc, et le dernier à l'auteur qui s'est inspiré de ses travaux.

1° Tout d'abord on intercalera dans les circuits de l'induit (secondaire) des appareils présentant de la capacité ; vu le faible voltage et la faible fréquence des courants secondaires, on ne peut songer à des condensateurs et l'on doit recourir à des polarisateurs. Le secondaire est alors parcouru, non seulement par des courants de travail opposés aux courants ordinaires wattés, mais encore par des courants déwattés, en avance de $\frac{\pi}{2}$, qui produisent un champ magétique tournant dirigé dans le même sens que celui produit par les courants primaires déwattés retardant de $\frac{\pi}{2}$. En réglant la valeur de la capacité, on peut donc faire en sorte que le champ ait précisément même valeur que le champ primaire primitif et remplace celui-ci ; il n'y a plus alors besoin de courant déwatté et le facteur de puissance prend la valeur 1. On peut même, en forçant le courant déwatté secondaire, surexciter le champ et faire apparaître dans le primaire un courant déwatté en avance. L'application des polariseurs a été faite récemment à Bourganeuf, avec succès, par MM. Leblanc et Guilbert qui ont bien annulé ainsi le décalage primaire.

Ce procédé permet, dans certaines conditions, d'accroître le couple et, par suite, la puissance du moteur ; mais il faut pour cela, ainsi qu'on l'a expliqué ailleurs [1], donner à la capacité une valeur suffisante ; c'est particulièrement au démarrage qu'il peut être recommandé, parce qu'il suffit alors d'une capacité assez faible, la réactance du condensateur étant proportionnelle à la fréquence n. Lorsque la vitesse relative du primaire et du secondaire varie, la fréquence devient $n - n'$ et la réactance de capacité prend une valeur différente

$$\frac{(n - n')}{2\pi c},$$

en désignant par c la capacité du polarisateur.

Celle-ci devrait donc être modifiée suivant la vitesse, et recevoir une valeur très grande

[1] *Lumière Électrique*, 10 février 1894, p. 258.

en marche normale (où $n - n'$ est inférieur à 5) ; en outre l'addition du polarisateur augmente très notablement le glissement et réduit ainsi un peu le rendement. Pour tous ces motifs, l'emploi de polarisateurs, malgré ses très grands avantages, n'est pas encore entré vraiment dans la pratique.

2° Un autre moyen très ingénieux et très original de produire du courant déwatté en avance sans condensateurs, récemment imaginé aussi par M. Leblanc, permet d'obtenir le même résultat par une autre voie. Cet inventeur utilise un principe général très fécond qui lui est dû, à savoir la production de courants alternatifs à longue période au moyen d'une armature de dynamo à courant continu tournant à grande vitesse entre des inducteurs excités par un courant alternatif de la même période que celle à obtenir.

Ce procédé peut être appliqué à la production de courants de même période que les courants secondaires du moteur, puisque ceux-ci sont de très faible fréquence, 2 à 3 en général, et il suffit, pour que ces courants soient déwattés par rapport aux courants principaux, d'exciter les dynamos à courants continus qui les produisent par des courants de même période et décalés de $\frac{\pi}{2}$.

Le moyen le plus simple de réaliser ces conditions est de munir le secondaire d'un enroulement diphasé comprenant un premier circuit dans lequel le courant est de la forme

$$i = \sin 2\pi (n - n') t,$$

et un second circuit où le courant est de la forme

$$i' = \cos 2\pi (n - n') t,$$

et d'employer deux dynamos excitatrices à champ inducteur alternatif ; le circuit *sinus* du secondaire est envoyé dans l'armature de l'unes d'elles et dans l'inducteur de l'autre, inversement le courant *cosinus* traverse l'inducteur de la première et l'armature de la seconde.

Les inducteurs des deux dynamos travaillent au-dessous de la saturation et, d'autre part, les variations de champ sont trop lentes pour produire dans les armatures des f. é. m. autres que celles dues à la rotation.

Il en résulte que les forces électromotrices développées par ces excitatrices dans chacun des deux circuits, sont proportionnelles aux intensités efficaces des courants qui les traversent et décalées de 1/4 de période par rapport à ces intensités ; en disposant convenablement le sens des enroulements inducteurs on s'arrange de façon qu'elles soient en avance.

Tous passe donc comme si l'on avait introduit dans chaque circuit un condensateur ayant pour capacité $c = \frac{i}{2\pi(n - n')e}$, en appelant e la f. é. m. maxima produite par les dynamos et i l'intensité *maxima* dans les deux circuits. La réactance dûe à cette capacité apparente est constante car elle a pour valeur le rapport $\frac{i}{e}$ qui est constant à une vitesse donnée ; on peut le faire varier en modifiant la vitesse des excitatrices [1].

Cette solution si remarquable par son ingéniosité s'applique également, moyennant des modifications très simples, au cas d'un secondaire ayant un nombre de phases différent de deux.

3° On peut encore obtenir le résultat cherché à l'aide d'un procédé différent et plus terre à terre en produisant simplement un flux inducteur dans le noyau secondaire à l'aide d'un circuit spécial, parcouru par un courant continu,

Si l'on suppose, pour simplifier, qu'il s'agisse d'un moteur à secondaire fixe et à primaire mobile, le flux magnétique tend à rester fixe dans l'espace lorsque le moteur tourne à la vitesse du synchronisme ; en charge il tourne dans le secondaire avec une vitesse correspondante à celle du glissement et par

(1) Quant à la réaction d'induit de celles-ci, M. Leblanc l'annule fort simplement à l'aide d'enroulements compensateurs disposés sur l'inducteur en regard de l'armature et en série avec elle suivant une méthode analogue à celle préconisée par M. Ryan et d'autres auteurs.

suite très faible : par exemple à la fréquence 50 et un glissement de 4 pour 100 un moteur à 4 pôles verra son champ faire un tour complet en $\frac{4}{0,34 \times 50} = 2$ secondes.

On bobinera dans les mêmes encoches du noyau secondaire un enroulement à courant continu semblable à celui d'un induit de dynamo bobiné en série dont les sections aboutiront de même à un collecteur à touches sur lequel on fera tourner synchroniquement au champ tournant une paire de balais (1) amenant le courant continu ; celui-ci pourrait être distribué par un circuit spécial, ou bien produit par une excitatrice calée sur l'arbre même du moteur ou par un convertisseur spécial.

On donnera au distributeur une vitesse synchrone de celle du champ tournant en l'actionnant par un petit moteur synchrone traversé par les courants secondaires, ou par un train d'engrenages à pignon satellite réalisant une vitesse égale à la différence entre la vitesse du synchronisme et celle de l'arbre.

On évitera les étincelles aux balais en fermant les sections de cet enroulement excitateur par des résistances en maillechort, laissant passer de très faibles courants polyphasés, qui ne sont pas perdus d'ailleurs puisqu'ils contribuent à la production du couple.

Ces conditions étant remplies, le champ supplémentaire suit forcément toujours tous les déplacements du champ tournant produit par les courants alternatifs, et on reste maître de régler l'intensité par un rhéostat d'excitation, et le décalage en modifiant simplement la position du diamètre de commutation du distributeur. On peut ainsi annuler et même inverser le courant déwatté primaire.

Les dispositifs qu'on vient de décrire constituent malheureusement une notable complication pour les moteurs, et on ne peut en prévoir, par conséquent, l'emploi éventuel que pour les machines d'assez grosse puissance qui, d'ailleurs, produisent le plus de gêne sur un réseau.

(1) Pratiquement, au lieu de faire tourner les balais sur un collecteur, il vaut mieux comme le fait la maison Farcot pour les Panchahuteurs, faire tourner un collecteur dont deux touches seules sont actives entre des balais en nombre convenable auxquels aboutissent les sections.

Suppression du courant déwatté dans les convertisseurs.

On appellera ici convertisseurs les appareils de transformation qui permettent de convertir des courants en courants d'espèces différentes. Ils sont de deux catégories bien distinctes suivant qu'ils reposent sur l'emploi de transformateurs fixes (panchahuteur Leblanc, convertisseur Scott) ou, au contraire, qu'ils sont construits comme des moteurs et comportent l'emploi d'armatures mobiles.

Les premiers se comportent au point de vue de la production du champ comme de véritables transformateurs, et on n'en parle ici que pour rappeler l'extrême importance théorique et pratique du panchahuteur.

Les seconds ont été pendant longtemps des alternateurs synchrones à induit *continu* (c'est à dire recouvert d'un enroulement uniformément distribué), recevant à volonté des courants continus ou polyphasés (système imaginé par Bradley) ; ils peuvent même convertir du courant alternatif en continu ou inversement à condition de mettre de grands entrefers et très peu de fil sur l'armature, ainsi que le fait la maison Ganz, pour éviter les étincelles par réaction d'induit.

Ces convertisseurs synchrones permettent, comme les moteurs, de compenser le courant déwatté du réseau fort utilement (par exemple, à Bockenheim, où M. Lahmeyer s'en est servi pour cet usage) et ils permettent de relever le voltage secondaire à volonté.

Plus récemment, on a imaginé des convertisseurs asynchrones. Le principe de cette solution a été indiqué par M. Potier en 1894 ; celui-ci remarquant qu'un moteur du type Brown donne lieu en vitesse à un champ tournant sensiblement constant et uniforme, grâce à la réaction du secondaire, a proposé de recueillir, à l'aide d'un enroulement continu disposé sur la même armature, des cou-

rants di ou triphasés, ou inversement. D'après le même savant, cet appareil, si on le munit d'un commutateur, et qu'on l'amène à la vitesse de synchronisme par un moteur extérieur, pourrait aussi fournir un courant continu.

MM. G. Ferraris et R. Arno ont eu la même idée, indépendamment, il y a quelques mois, pour la transformation du courant alternatif en polyphasé, mais ils préfèrent n'employer qu'un seul enroulement sur l'armature et faire la transformation des tensions dans des transformateurs fixes, disposition adoptée avec succès déjà pour les convertisseurs synchrones et qui en facilite beaucoup la construction.

Ces appareils à induction pèchent par la nécessité d'emprunter l'excitation aux courants alternatifs eux-mêmes sous forme de courants déwattés. On devra donc les compléter par l'un des dispositifs décrits ci-dessus pour les moteurs. Le dernier, consistant dans l'emploi d'un circuit excitateur à courant continu logé dans les mêmes encoches que les spires secondaires, peut d'ailleurs beaucoup se simplifier dans ce cas si on laisse fixes les bornes d'amenée du courant ; le champ excitateur reste alors fixe par rapport au noyau secondaire et l'appareil devient synchrone (sans risquer de se décrocher, grâce au très faible couple à produire pour entretenir la rotation). On peut annuler ainsi le courant déwatté en même temps qu'on peut (dans le cas du secondaire fixe) recueillir du courant continu aux balais d'un collecteur porté par le primaire. Ce dispositif s'applique à la conversion de courants alternatifs simples ou polyphasés ; ses propriétés sont intermédiaires entre celles des appareils synchrones et celles des asynchrones.

CONCLUSION

En résumé, l'un des problèmes les plus importants à résoudre dans le technique des courants alternatifs est aujourd'hui la suppression du *courant déwatté* ou tout au moins de ses conséquences nuisibles. Il n'est sans doute pas impossible d'y arriver et, par conséquent, on peut ne pas considérer comme absolument définitifs les types actuels de moteurs et d'alternateurs, mais au contraire chercher à les améliorer.

Le but de cette note a été seulement d'appeler l'attention sur ce point spécial des distributions alternatives et d'indiquer quelques voies où l'on a trouvé ou peut espérer trouver des solutions. Il y a lieu, en particulier, d'étudier la réalisation des appareils suivants :

1° Un bon condensateur ou un bon polariseur industriel ;

2° Un moteur d'induction excité par d'autres courants que ceux du réseau ;

3° Un alternateur où la réaction d'induit puisse être réduite par compoundage instantané sans préjudice pour la bonne utilisation des matériaux.

Il est à espérer que l'on verra bientôt produire dans l'industrie des appareils satisfaisants à ces desiderata.

Tout système qui pourrait éliminer le courant déwatté sur les réseaux, constituerait pour l'électrotechnique un progrès des plus importants.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Fabrication électrolytique de l'antimoine.

Le traitement électrolytique des minerais d'antimoine, bien qu'il offre un grand intérêt, le traitement ordinaire par voie sèche étant très onéreux et d'un mauvais rendement, n'a pas donné jusqu'ici des résultats permettant de l'appliquer industriellement ; il fournit un métal pulvérulent qui a besoin d'être raffiné avant d'être livré au commerce.

D'après *The Electrician*, MM. Siemens et Halske auraient surmonté ces difficultés et seraient parvenus à produire de l'antimoine électrolytique en plaques et d'un degré de pureté suffisant.

Les échantillons qui ont été obtenus consistent en plaques de 2 mm environ d'épaisseur, ayant la surface rugueuse, caractéristique de l'antimoine qui se dépose d'une dissolution sulfo-antimonieuse, comme par exemple, une dissolution de trisulfure d'antimoine dans un sulfure alcalin. Le côté des plaques en contact avec la cathode est doux et poli ; la fracture du métal est cristalline et brillante. Les plaques sont légèrement cintrées et sont très cassantes, de sorte qu'on peut les réduire facilement en poudre.

Ce produit électrolytique est absolument pur et peut être livré à l'industrie sans autre affinage, bien qu'on puisse le couler en lingots et l'améliorer légèrement si on le désire. L'analyse a donné, en effet, les résultats suivants : pour l'antimoine électrolytique et l'antimoine ordinaire.

	Antimoine électrolytique tiré directement de la cathode	Métal coulé préparé avec de l'antimoine électrolytique	Antimoine raffiné préparé par la voie sèche
Arsenic....	»	»	traces
Soufre.....	0,288	0,0001	0,0100
Fer	0,008	0,0046	0,1000
Plomb.....	traces	0,0084	0,0303
Cuivre.....	»	»	»
Sodium....	0,04	»	»
Antimoine.	99,490	99,9869	99,8587

Conductibilité électrique de l'aluminium.

D'après *The Aluminium World*, la Pittsburg Reduction Company a fait faire récemment des essais sur la conductibilité électrique de l'aluminium qu'elle livre au commerce. Ces essais ont été faits par M. Charles Scott, électricien de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company, et par le professeur J. W. Richards, de l'Université de Lehigh.

Le fil soumis aux essais était coupé en tronçons de 15 m de long et 2,82 cm de diamètre et ces tronçons étaient enroulés sur des bobines en bois immergées dans l'huile. On faisait varier la température en plaçant ces bobines dans une étuve à vapeur d'eau ; l'huile était constamment maintenue en mouvement. La mesure des résistances se faisait avec un pont de Wheatstone, par comparaison avec un fil de cuivre doux ayant une résistance de 9,720 unités B A à 0° C, soit 10,20 ohms légaux à 15°5 C.

Les échantillons numérotés 1, 2 et 3 dans le tableau ci-dessous sont des fils d'aluminium contenant respectivement 99,50, 99,00 et 98,00 pour 100 d'aluminium ; les impuretés trouvées par l'analyse consistaient en silice et une petite quantité de fer ; le troisième échantillon contenait en outre 0,1 pour 100 de cuivre. L'échantillon X B n° 4 est un alliage de nickel et d'aluminium contenant 97 pour 100 de ce dernier métal et l'échantillon XCWC n° 5 est un alliage renfermant du zinc, du cuivre et 96 pour 100 d'aluminium. Ces échantillons ont donné à M. Scott les résultats suivants :

Echantillons	Résistance en ohms pour des longueurs de fils de 300 m à 15° C.	Conductibilité relative à 25° C.	Variation pour 100 par degré entre 25° C et 80° C.
Cuivre......	101,85	100,00	0,388
Al. n° 1	161,40	63,09	0,385
» n° 2	163,80	62,18	0,385
» n° 3	181,30	56,17	0,360
X B n° 4.....	174,10	58,48	0,361
XBWC n° 5..	185,10	55,01	0,359

Les essais de M. Richards n'ont porté que sur l'échantillon n° 1 ; il a trouvé 99.59 pour son degré de pureté et 64,5 pour sa conductibilité rapportée au cuivre.

De ces résultats, il est bon de rapprocher ceux que M. Charpentier-Page a obtenus pour l'aluminium commercialement pur et différents alliages d'aluminium et cuivre, mis sous forme de fils de 2 mm de diamètre. Ces résultats, rapportés également la conductibilité du cuivre pur sont indiqués dans le tableau suivant :

	Conductibilité
Cuivre pur	100
Aluminium commercialement pur	62
» à 97 °/₀ et cuivre 3 °/₀	49
» à 94 °/₀ » 6 °/₀	44
» à 10 °/₀ » 90 °/₀	13

L. D.

Pertes d'énergie dues au courant d'armature, par Otto T. Blathy [1]

L'auteur ayant eu récemment l'occasion de faire des expériences détaillées sur les pertes de charge d'une dynamo type, en décrit les résultats de la façon suivante.

Deux machines à courant continu identiques sous tous rapports du type C 40 de Ganz et Cie furent reliées par un couplage direct, l'une d'elles fonctionnant comme moteur, l'autre comme génératrice. Les données caractéristiques de ces machines, sont : 110 volts, 400 ampères à 450 révolutions par minute ; les pièces polaires au nombre de 6, couvrent respectivement 185 mm de la circonférence ; le noyau de l'armature a 500 mm de diamètre extérieur et 400 mm de diamètre intérieur ; la longueur axiale de l'armature est de 400 mm ; la portée des électros, 512 mm. L'armature porte 96 cavités, chacune de 30 mm de profondeur et 7,5 mm de largeur et contenant 4 fils de 5,6 mm ; 32 bobines produisent 110 volts ; l'enroulement est parfaitement symétrique ; le collecteur porte 96 lames. On a encore

Résistance de l'armature à 27° C = 0,006 ohm
» du circuit shunt = 19 ohms
Maximum du courant d'excitation = 0,2 ampères

A 450 révolutions et 110 volts et l'intensité dans l'armature portée à 405 ampères, les pertes d'énergie sont réparties comme il suit :

Frottement et résistance de l'air	730 watts
Hystérésis et courants de Foucault (sans charge)	880 »
Excitation	460 »
Pertes ohmiques dans l'armature	985 »
Pertes de charge	740 »

Il en résulte que ces dynamos ont un rendement, à pleine charge de 92 pour 100, rendement porté à 93,5 pour 100 s'il n'est pas tenu compte des pertes de charge.

Une série d'expériences fut entreprise pour déterminer la relation de la perte de charge avec le courant dans le circuit de l'armature, la vitesse angulaire et le champ magnétique.

Pour atteindre ce but, l'une des machines fût employée comme moteur, l'autre mise en court-circuit et très faiblement excitée, afin d'obtenir dans l'armature un courant correspondant au court-circuit. Dans une seconde expérience, les deux armatures furent couplées en série, l'une comme moteur et l'autre comme dynamo avec le même courant ; l'énergie consommée était fournie par une troisième dynamo dont l'armature avait été mise dans le circuit de celles des deux autres machines d'après la méthode décrite par le Dr Hopkinson. De cette façon, les pertes d'énergie sont mesurées directement, et avec beaucoup plus d'exactitude qu'en mesurant l'énergie totale fournie au moteur et récupérée par la dynamo. La tension fut établie au moteur et à la dynamo pour une moyenne de 110 volts. Le tableau suivant donne les moyennes d'un grand nombre de résultats :

Révolutions par minute	Courant dans l'armature i ampères	Perte ohmique dans l'armature ri^2	Perte de charge B V		Observations
154	410	1 040	350	0,34	Armature en court circuit
136	590	2 150	1 050	0,49	
280	410	1 020	760	0,74	
287	570	2 000	1 500	0,75	
455	400	960	1 140	1,19	
446	570	2 000	2 300	1,15	
540	410	1 050	1 450	1,38	
590	590	2 180	2 970	1,36	
266	422	1 070	460	0,43	à 110 volts
345	395	940	550	0,58	
468	575	850	660	0,78	

L'examen du tableau démontre que la perte de charge est presque proportionnelle au carré de l'intensité dans l'armature et, toutes choses égales, presque proportionnelle à la vitesse avec un champ faible ou normal ; enfin, cette perte de charge est de beaucoup plus élevée avec un court-circuit et un champ faible qu'à la tension normale et un champ puissant.

Ces résultats conduisent l'auteur aux con-

[1] *The Electrician*, t. XXXVII, p. 474 ; 7 août 1896.

clusions suivantes sur la nature de la perte de charge : le renversement de la magnétisation dans le fer causerait une dépense de travail consistant en courants de Foucault et hystérésis. La somme de ces derniers augmenterait théoriquement comme la puissance 1,75 de l'intensité du courant, et un peu plus vite que la vitesse d'alternation des pôles. Cette somme serait naturellement moins grande dans une masse de fer déjà magnétisée par d'autres influences (des aimants permanents, par exemple) que quand la magnétisation est seulement due aux courants de l'armature produisant les pertes.

L. D.

A propos de la pile au charbon du Dr Jacques (1), par C. J. Reed.

Une série d'expériences a été entreprise par l'auteur dans le but de démontrer que l'énergie électrique produite par le générateur du Dr Jacques (2) n'est due qu'à une ation purement thermoélectrique. L'appareil dont il se servit pour faire ces vérifications était construit sur le même principe que les couples du Dr Jacques; il comprenait un récipient en fer, muni d'une tige extérieure pour les connexions, contenant la soude caustique et chauffé par la flamme d'un brûleur Bunsen, et un voltmètre relié d'une part au récipient et de l'autre à une tige de charbon, de cuivre, nickel, fer, argent allemand, plomb ou cadmium destinée à être plongée dans la solution pour produire le courant.

Les lectures au voltmètre étaient faites aussi rapidement que possible dès que la tige était plongée dans la solution qui avait, au préalable, été portée à une température élevée. On continuait à noter les indications du voltmètre toutes les minutes depuis la température la plus haute jusqu'au point de solidification de la soude par le refroidissement.

(1) *The Electrical World*, t. XXVIII, p. 98, 25 juillet 1896.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII. p. 172, 25 avril 1896.

Les résultats obtenus indiquent clairement qu'il n'y a aucune différence notable que la tige plongée dans le bain soit en charbon ou en métal; le siège de la f. é. m. est donc la même. Le maximum de cette dernière a d'ailleurs été, pour différents métaux, plus élevée que pour le charbon.

L'auteur fit plusieurs observations avec des tiges de cadmium et de plomb qui fondirent rapidement. Néanmoins les lectures faites au voltmètre ont indiqué pour le cadmium une f. é. m. positive de 0,09 volt après la 17me minute d'immersion. Une seconde lecture faite à la 73me minute indiquait cette fois une f. é. m. négative de 0,58 volt. Le plomb a, pour une durée d'immersion à peu près identique, indiqué une f. é. m. positive 0,4 volt et négative de 0,64 et 0,30 volt.

Le renversement de la polarité à une température un peu au dessous du rouge est particulièrement intéressant. L'auteur croit que ce phénomème est une preuve suffisante que la pile produit des effets thermoélectriques et non galvaniques. Ces effets sont en concordance avec les propriétés thermoélectriques de toutes les substances, mais ne peuvent être attribués à des actions galvaniques ou chimiques.

Pour cette raison il est impossible que l'énergie électrique que l'on observe avec une tige de charbon dérive de la consommation même de ce dernier. A l'appui de cette dernière opinion, l'auteur a remplacé la tige de charbon qui lui servait dans les expériences précédentes par trois crayons neufs de lampes à arc. Examen fait de ces crayons après l'essai, il a constaté que le poli de la surface était si peu altéré qu'il était impossible les distinguer parmi d'autres n'ayant pas servi.

Les résultats obtenus avec une tige de fer sont particulièrement intéressants. Le récipient étant également en fer, la tige et le récipient ne constituent pas les éléments d'un couple thermo-électrique. L'action produite ne peut donc être engendrée qu'entre les points de contact de la soude en fusion et du

récipient, la tige de fer ne remplissant d'autre fonction que celle d'un conducteur. Cette manière de voir explique immédiatement pour quelle raison la substitution des tiges de différents métaux au charbon ne produit pas une différence sensible.

Afin d'établir une comparaison plus rigoureuse des résultats obtenus avec diverses substances, l'auteur a répété l'expérience en apportant quelques modifications au dispositif précédent. Le récipient cylindrique était en partie logé dans un creuset de plombagine dont le fond avait été enlevé et contenait cette fois de la potasse caustique non purifiée. Les connexions étaient établies comme pour les expériences précédentes. Ensuite trois tiges l'une de charbon, l'autre de cuivre et la troisième de fer furent employées simultanément. Ces trois tiges avaient chacune 0,25 m de long et 0,6 cm de diamètre, étaient isolées les unes des autres par une feuille d'amiante et maintenues dans une position verticale par une pince appropriée. Chacune d'elles était reliée par un conducteur à l'une des trois touches de contact d'un petit commutateur dont l'axe était relié d'une façon permanente à l'une des bornes du voltmètre. L'autre borne de ce dernier était reliée au récipient. L'appareil ainsi disposé, on fit fondre d'abord et ensuite refroidir la potasse. Quand cette dernière se fût solidifiée, le faisceau de tiges fut amené au contact et le brûleur allumé. Dès ce moment, les tiges de cuivre et de charbon indiquèrent une f. é. m. qui atteignit 0,40 volt quand la température de la masse était de 77° C. Les lectures étaient notées toutes les minutes pour chacune des tiges. Le brûleur Bunsen fut remplacé par un chalumeau, mais on ne put atteindre une température audessus de 343° C en raison de la perte de chaleur occasionnée par l'emploi d'une tige en cuivre. Cette dernière fut supprimée et une portion de la solution enlevée. La température s'est alors élevée rapidement en faisant décroître la f. é. m. dans les deux tiges ; celle de charbon changea de polarité et atteignit une f. é. m. maximum de 0,65 volt. La tige de fer indiqua un peu avant le maximum de température une f. é. m. de 1,15 volt.

Dans le cours de cette expérience, l'auteur plongea des tiges froides analogues à celles déjà employées. Des lectures simultanées indiquèrent une f. é. m. plus grande pour les tiges froides que pour celles plongées dès le début dans l'élément, la moyenne de ces lectures pour les substances correspondantes sont données dans le tableau suivant :

	Chaud	Froid
Charbon	0,41 volt	0,80 volt
Fer	0,14	0,42
Cuivre	0,57	0,58

Ces chiffres suffisent à démontrer que la f. é. m. s'accroît par suite de l'augmentation de la différence de température entre les deux jonctions.

Le courant d'air employé dans la batterie du Dr Jacques produit un effet analogue et c'est sans doute la cause de sa f. é. m. élevée. L'auteur a également trouvé qu'un jet de gaz d'éclairage produit le même effet. Ce dernier fait tend encore à faire rejeter la théorie que la force électromotrice est le résultat de l'action oxydante de l'air projeté sur la tige de charbon.

Dans une troisième expérience, l'auteur a remplacé le faisceau précédent par un bout de tuyau en fer courbé en forme d'U dans lequel on faisait passer un courant d'air. Ce procédé ne permit pas d'atteindre une très haute température de la solution, la f. é. m. atteinte ne dépassait pas 0,40 volt. Toutefois, cette dernière put être portée à 0,94 en enlevant un peu de soude caustique. La particularité observée dans ces dernières expériences est que le tube de fer se maintint positif pour la plus haute température, tandis que les tiges de même métal devenaient négatives dans les conditions des expériences antérieures.

L. D.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Rôle du diélectrique dans la décharge par les rayons de Roentgen ; par Jean Perrin (¹)

« En étudiant la décharge d'un corps électrisé par les rayons de Roentgen, on peut y dégager un phénomène qui précise le rôle du diélectrique environnant. J'ai déjà publié sur ce point quelques résultats qualificatifs (²) ; après les avoir résumés, j'aborderai cette fois l'étude quantitative de ce phénomène.

» I. Il est facile de vérifier que les rayons X peuvent décharger en quelques secondes un corps électrisé, *sans même effleurer ce corps*, et simplement en traversant le milieu gazeux qui l'environne. Il faut donc ne laisser pénétrer les rayons que dans la région qu'on veut étudier.

» Cette précaution prise, on arrive assez vite à voir que *les tubes de force rencontrés par les rayons X se comportent comme des conducteurs*, pourvu qu'ils soient situés dans un gaz.

» Par suite, un corps électrisé, situé dans une atmosphère *en repos*, se décharge si quelques-uns des tubes de force qu'il émet sont rencontrés par les rayons.

» De même, un conducteur isolé, sans charge initiale, mais placé dans un champ électrique, se charge lorsque des rayons coupent les tubes de force qui en émanent.

» Je rappellerai seulement parmi les expériences qui justifient ces conclusions celle qui me paraît la plus démonstrative :

» Une plaque rectangulaire P′ découpée dans l'une des armatures d'un condensateur P Q est liée à l'aiguille d'un électromètre. Au début de l'expérience, elle est aussi liée au reste de l'armature P qui joue ainsi le rôle d'anneau de garde.

» On charge le condensateur ; on coupe la communication entre P′ et P et l'on fait passer les rayons, *qui ne touchent aucune des armatures*, distantes de 0,05 m.

» L'action est énergique lorsque les rayons, supposés perpendiculaires au plan de la figure, passent en A ; elle reste sensiblement la même quand ils passent en B ; elle devient pratiquement nulle quand ils passent en C.

» Or la distance BC est à peu près égale à la largeur du faisceau de rayons, soit environ 0,01 m. Tout ce qui serait dû à la convection et à la diffusion du gaz ne peut donc sensiblement changer quand ce faisceau, au lieu de passer en B, passe en C ; mais, dans ce dernier cas, les tubes de force émanés de la plaque P′ ont cessé d'être rencontrés.

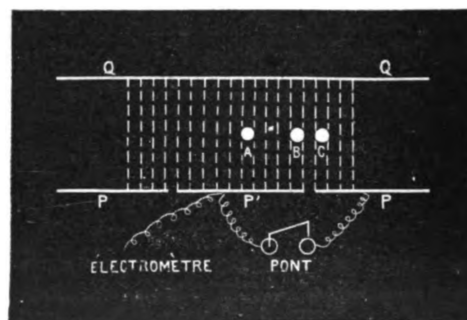


Fig. 1.

» II. Pour expliquer le rôle des tubes de force, il suffira comme je l'ai déjà dit, de supposer que les rayons X dissocient certaines molécules du diélectrique où ils pénètrent, libérant ainsi des ions positifs et des ions négatifs. S'il existe un champ électrique, les ions positifs sont sollicités dans la direction du champ et les ions négatifs en sens contraire ; si, de plus, le milieu est gazeux, les deux systèmes d'ions peuvent filtrer au travers l'un de l'autre, toujours dans la direction de la force et, par suite, le long des tubes de force. Ils cheminent ainsi jusqu'à ce qu'ils rencontrent les charges qui terminent ces tubes, ou jusqu'à ce qu'ils soient arrêtés mécaniquement, par exemple par un obstacle rigide. L'électricité pourrait ainsi traverser les gaz

(¹) *Comptes rendus* t. CXXIII, p. 351.

(²) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VII, p. 545 ; 20 juin 1896

par un procédé nettement différent de l'électrolyse ordinaire.

» Il ne paraît pas nécessaire que le champ préexiste ; il suffira de le faire agir avant que les molécules dissociées aient eu le temps de se reformer. On s'explique ainsi comment J.-J. Thomsom et Roentgen ont pu décharger des corps électrisés en faisant passer sur ces corps de l'air d'abord traversé par les rayons. D'une manière générale, les rayons fourniraient le travail nécessaire à la séparation des ions, et le champ électrique le travail nécessaire à leur transport.

» III. L'électricité qui traverse le gaz sous l'influence du champ serait, d'après cette hypothèse, au plus égale à la quantité d'électricité neutre dissociée par les rayons. Et, en effet, l'expérience prouve *qu'il existe un débit maximum indépendant du champ*.

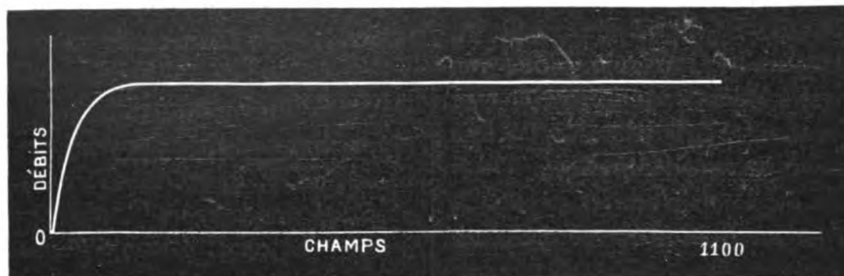


Fig. 2.

» J'ai employé, pour m'en assurer, le condensateur P, Q déjà décrit : la distance des armatures a varié de 1 à 10 cm et leur différence de potentiel de 2 à 220 volts. Le champ a donc varié dans le rapport de 1 à 1100.

» En portant la valeur du champ en abcisses et le débit correspondant en ordonnées, j'ai obtenu la courbe de la figure 2, qui montre clairement qu'un débit maximum est très rapidement atteint ; c'est bien la loi qu'on prévoyait à partir de l'hypothèse précédente.

» On peut retrouver ce résultat par une méthode de zéro qui élimine l'influence des variations du tube de Crookes. Il suffit d'opposer sur un même électromètre deux condensateurs identiques P Q, P_1 Q_1, traversés par un même rayon, mais où les plaques P_1, P'_1, liées à l'aiguille, sont chargées d'électricités contraires, en sorte que l'aiguille reste au zéro si le débit total est nul. J'ai constaté ainsi que le débit variait de moins que $\frac{1}{200}$ quand le champ varie de 350 à 1100.

» C'est ce débit maximum qui, dans l'hypothèse énoncée, donne la quantité d'électricité neutre dissociée par les rayons.

» IV. J'ai cherché comment varie ce débit maximum suivant la distance à la source et le volume intéressé par les rayons.

» En envoyant dans le condensateur P Q des cônes de rayons d'angles solides 1, 2, 3, 4, j'ai obtenu des débits proportionnels à 1, 2, 3, 4.

» De même, en utilisant sur un même cône de rayons des longueurs proportionnelles à 1, 2, 3, j'ai obtenu des débits proportionnels à 1, 2, 3.

» La quantité d'électricité neutre dissociée par les rayons à l'intérieur d'une couche sphérique mince, centrée sur la source d'émission, est donc indépendante du rayon de cette couche et proportionnelle à son épaisseur.

» Cette loi, analogue à la loi des inverses des carrés des distances, donne un sens à la définition suivante :

» *La quantité de rayons X* radiée à l'intérieur d'un cône ayant la source pour sommet est proportionnelle à la quantité d'électricité dissociée dans ce cône par unité de longueur dans un gaz donné, à une pression et à une température données. La définition de l'*éclat* dans une direction donnée est alors immédiate,

» V. Cette définition n'est acceptable que

si les rayons s'affaiblissent très peu sur le parcours utilisé. Pour voir dans quelle mesure on peut négliger l'absorption, j'ai opposé sur un même électromètre deux condensateurs indentiques, traversés par le même faisceau de rayons, mais distants de 25 cm. Le débit dans le deuxième condensateur s'est trouvé plus faible d'environ $\frac{1}{25}$. Cet affaiblissement est probablement dû à l'absorption par le milieu ([1]).

Sur la non-réfraction des rayons X par le potassium, par F. Beaulard, ([2]).

« On sait qu'un des caractères importants des rayons de Roentgen consiste en ceci : qu'ils ne sont pas réfractés, ou tout au moins qu'ils ne subissent pas de réfraction sensible et facilement mesurable avec nos moyens actuels ; cependant l'aluminium avait paru donner une déviation suffisamment nette pour être mise en évidence par les procédés ordinaires ; les recherches de haute précision de M. Gouy ([3]) (*Comptes rendus*, 26 mai et 6 juillet) ont montré depuis que ce métal ne réfracte pas les rayons X, ou que la réfraction, si elle existe, est insensible $\left(n - 1 < \frac{1}{10^6}\right)$.

» Lorsque j'ai commencé les expériences dont je vais entretenir l'Académie, je pensais qu'un prisme en aluminium déviait d'une façon notable les rayons de Roentgen ; on pouvait, dès lors, se demander si ce métal ne devait pas cette propriété particulière à sa faible densité. C'est pour soumettre cette idée au contrôle de l'expérience que j'ai employée, pour essayer de réfracter les rayons X, un prisme en potassium : j'ajoute que j'ai opéré dans le vide (1 cm environ) ; le dispositif employé est le suivant :

» Un tube long de 95 cm (dans lequel on peut faire le vide) porte à une de ses extrémités le tube de Crookes, mastiqué dans une garniture métallique, tandis que l'autre extrémité est munie d'un cadre destiné à supporter la plaque sensible ; deux fentes verticales, bien parallèles, à bords bien dressés, ayant pour largeur 0,1 mm (c'est l'épaisseur d'une feuille de clinquant), sont distantes de 15 cm et définissent ainsi un faisceau linéaire bien déterminé.

» Le potassium est placé après la deuxième fente. Dans un morceau de ce métal, on taille un prisme triangulaire, que l'on introduit aussitôt dans un prisme creux en ébonite ; on ferme ensuite et l'on entoure le tout d'une mince couche d'arcanson ; j'ai au préalable vérifié que l'ébonite ne dévie pas les rayons X (*Comptes rendus*, 30 mars). Le prisme est disposé de façon à obturer soit la moitié supérieure de la fente, soit seulement la partie médiane, en laissant à découvert ses deux extrémités, qui constituent ainsi deux points de repère sur le cliché ; celui-ci est étudié ensuite à la machine à diviser.

M. Gouy, qui a eu l'obligeance d'examiner un des clichés avec l'appareil micrométrique de Brunner qui lui a servi pour ses délicates recherches, n'a pu apercevoir aucun déplacement sensible entre l'image de la partie inférieure de la fente. Quoique l'image soit légèrement élargie, un déplacement linéaire de 0,1 mm aurait été appréciable ; la plaque photographique étant a 80 cm du prisme, il en résulte que la déviation, si elle existe, est inférieure à 10″ ; l'indice diffère alors de l'unité d'une quantité inférieure à $\frac{1}{10000}$. »

([1]) Travail fait au laboratoire de Physique de l'École Normale.

([2]) *Comptes Rendus*, t. CXIII, p. 301, séance du 3 août 1896.

([3]) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 567 et t. VIII, p. 131, 20 juin et 18 juillet 1896.

La photographie à l'intérieur du tube de Crookes par G. de Metz, ([1])

« J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie de nouvelles photographies que j'a obtenues à l'intérieur du tube de Crookes par la méthode indiquée dans ma première Note (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 880 ; 20 avril 1896). Elles nous montrent déjà mieux la

([1]) *Comptes rendus* t. CXXIII p. 354, séance du 10 août 1896.

ressemblance entre les rayons cathodiques et les rayons de Roentgen, en ce qui concerne leurs propriétés photographiques. Cette fois, nous avons devant nous un Tableau comparatif, et nous apprenons que la répartition des clairs et des ombres est à peu près du même ordre sur le cliché fait par les rayons X, et sur le cliché obtenu à l'intérieur du tube à décharge; pourtant, nous avons soumis à l'épreuve des corps différents, travaillés en forme de petites bandes, à savoir :

Aluminium épais de....................	0,90 mm
Spath d'Islande........................	1,30
Verre ordinaire........................	1,56
Mica..................................	1,30
Carton noir épais.....................	1,20
Plomb.................................	1,35
Bois d'acajou.........................	0,93
Caoutchouc durci......................	1,15

» Si nous voulons maintenant ranger ces corps dans l'ordre décroissant, d'après leur perméabilité par les rayons cathodiques et par les rayons X, nous arrivons alors à la liste suivante :

Pour les rayons cathodiques	Pour les rayons de Roentgen
Bois d'acajou.	Bois d'acajou.
Caoutchouc durci.	Carton de Bristol.
Carton de Bristol.	Caoutchouc durci.
Aluminium.	Aluminium.
Verre ordinaire.	Verre ordinaire.
Plomb.	Mica.
Mica.	Spath d'Islande.
Spath d'Islande.	Plomb.

» L'identité n'est pas parfaite, et il faut s'en rendre compte. C'est le plomb qui a trop changé de place.

» Mais il suffit d'examiner ses contours diffus sur la photographie faite à l'intérieur du tube, pour s'expliquer cette exception apparente. Nous voyons, en effet, que les bords du carton et du bois d'acajou empiètent sur ceux du plomb, en passant par des pénombres; ils ne sont pas aussi tranchants que sur la photographie voisine de Roentgen. Mais ce n'est pas tout. En étudiant attentivement les deux photographies, nous remarquons, en outre, que la bande de plomb nous paraît plus étroite (1 mm) qu'elle ne l'est en réalité (2 mm), tandis que c'est le contraire qui a lieu pour la bande de carton, qui atteint 4 mm de largeur sur ses 2,25 mm effectifs. La même déformation s'observe au voisinage des bandes de mica et de carton. D'après ces remarques, on comprend combien il est difficile de parvenir à l'identité voulue des deux listes.

» Il semble que ce genre de déformation se répète, en général, au voisinage de deux corps dont l'un est facilement perméable par les rayons cathodiques, tandis que l'autre l'est moins. Je l'ai observé encore, par exemple, au voisinage d'une plaque de tourmaline et d'un prisme en bois d'aulne et en caoutchouc: c'est à peine si l'on trouve les traces du prisme sur la photographie, tant il est perméable, mais la ligne droite de la tourmaline est altérée, surtout à droite, vers la base du prisme.

» On dirait qu'il s'agit ici d'une espèce d'émission intérieure du carton, du bois d'acajou et du bois d'aulne, d'une sorte de fluorescence.

» Après ces expériences, j'ai tenté de résoudre la question, analogue à celle qui a paru si intéressante pour les rayons X, si les rayons cathodiques se polarisent ou non? Plusieurs expériences m'ont montré que également sous ce rapport, les rayons cathodiques ne se distinguent en rien des rayons X; ils ne se polarisent pas. On peut observer des traces de polarisation, mais excessivement faibles, en ayant recours à la méthode du renforcement photographique des clichés et de leur superposition. Je me propose de revenir sur ce sujet avec plus de détails dans une Note spéciale.

» En terminant cette Communication, je me permets de rappeler, pour éviter tout malentendu, que les rayons cathodiques dans toutes mes expériences ne traversent qu'un couvercle en carton mince, avant d'atteindre les pellicules sensibles; celui-ci étant indispensable pour protéger les pellicules contre

la lumière ordinaire. Le platine et l'aluminium, dont fait mention M. H. Poincaré à propos de ma première note, m'ont seulement servi dans une expérience ».

Observation au sujet de la communication précédente, par M. H. Poincaré (¹).

« Il y aurait lieu, pour interpréter cette expérience, de vérifier si le carton frappé par les rayons cathodiques émet, comme d'autres corps, des rayons X.

» Il faudrait également répéter l'expérience en réservant un plus grand intervalle entre les lames absorbantes et en faisant varier cet intervalle. En effet, les rayons X émis par ces lames et envoyés dans toutes les directions troublent les phénomènes et expliquent sans doute les divergences signalées par M. de Metz. »

Sur les tubes producteurs des rayons X, par A. Righi (²).

Dans cette note, M. Righi estime que pour rendre les images de Roentgen plus parfaites, il est surtout nécessaire de réduire la surface de la région anticathodique d'où partent les rayons X. Or, un des moyens auquel on peut recourir pour atteindre ce but, consiste dans l'emploi de tubes de dimensions restreintes (³) et l'auteur pense qu'il était possible d'obtenir avec ces derniers, les mêmes effets qu'avec les tubes ordinaires, à la condition d'augmenter convenablement la pression des gaz qu'ils contiennent.

On sait, en effet, d'une façon générale, qu'en réduisant les dimensions des tubes de décharge et en augmentant convenablement la pression des gaz qu'ils renferment, la décharge conserve son caractère, les différentes parties qui la compose, seules acquièrent des dimensions moindres et souvent un effet lumineux plus grand. L'auteur a pu constater ce fait dans le cas de cette forme de décharge si singulière et à laquelle il a donné le nom de décharge globulaire (¹).

Pour vérifier l'exactitude de ses prévisions, M. Righi a construit des tubes cylindriques dont la section n'est que de quelques millimètres de diamètre, et dans lesquels la distance entre la cathode et la paroi opposée n'est que de quelques centimètres. Les rayons X obtenus à l'aide de ces tubes sont très intenses ; ils acquièrent leur intensité maxima lorsque la pression intérieure arrive à une valeur de beaucoup supérieure à celle qu'elle doit avoir dans un tube de dimensions ordinaires.

L'auteur cite comme exemple une expérience faite sur un tube ayant 8 mm de diamètre intérieur, et une distance de 8 cm entre la cathode et le fond du tube ; il obtint l'intensité maxima des rayons X pour une pression intérieure de 1/20 de millimètre, alors que dans les grands tubes en forme de poire cette pression est, comme on le sait, environ 50 fois plus faible.

La mesure de l'intensité des rayons fut faite par la méthode électrique.

Les ombres photographiques obtenues avec ces petits tubes sont très nettes et très intenses pour des poses relativement courtes. La netteté des contours est due à la très faible surface de la région radiante, et conséquemment, à l'absence presque complète de pénombre ; la courte durée de la pose est due en partie à la même circonstance, puisqu'elle permet de placer la plaque photographique à quelques centimètres du tube sans que les pénombres deviennent nuisibles, mais aussi au fait que le fond du tube peut se faire extrêmement mince.

En raison du peu de durée de ces tubes à fond mince, l'auteur croît préférable d'en fermer les extrémités à l'aide d'une feuille d'aluminium qui fait, en même temps, fonction d'anode et de surface anticathodique.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 359, séance du 10 août 1896.

(²) *Rend. d. R. Acc. dei Lincei*, 5ᵉ série, t. V, p. 47 ; 19 juillet 1896.

(³) Voir à ce sujet l'article de M. Collardeau; l'*Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 112 ; 18 juillet 1896.

(¹) Voir l'*Éclairage Électrique*, t. VI; p. 362.

Vers la fin de ses expériences, l'auteur apprit que MM. Chabaud et Hurmuzescu dans une communication faite à la Société française de Physique (¹) avaient trouvé, eux aussi que dans les tubes de faibles dimensions la pression de l'air correspondant au maximum d'intensité des rayons X est relativement élevée. Mais d'après ces auteurs, cette pression conviendrait aux tubes longs et minces, et non aux tubes dont toutes les dimensions sont restreintes : en d'autres termes, ce serait une question de forme plutôt que de grandeur des tubes.

En effet, MM. Chabaud et Hurmuzescu, après avoir observé que dans un tube cylindrique la pression produisant l'intensité maxima des rayons X est supérieure à la pression nécessaire pour produire les mêmes effets avec un tube à poire, pensèrent exagérer la diversité de forme en employant un tube long de 83 cm et de faible diamètre intérieur. Les effets maxima s'obtinrent, avec ce tube, à la pression de 1/100 de mm.

Selon M. Righi, ce n'est pas la forme allongée, mais les faibles proportions du tube qui rendent plus élevée la pression correspondante au maximum d'intensité des rayons. Il a remarqué qu'en faisant varier la longueur du tube (c'est à dire la distance comprise entre la cathode et la surface anticathodique) la pression correspondant au maximum des rayons X varie en sens inverse de cette distance, ce qui est précisément le contraire de ce que l'on pourrait prévoir en admettant que plus la forme du tube est allongée, plus la pression correspondant à l'effet maxima est élevée.

En mesurant l'intensité des rayons X produits par un des petits tubes qu'il a construits, l'auteur a fait les remarques suivantes :

Pour une pression trop élevée, l'effet est nul.

Les rayons X apparaissent à une certaine pression et leur intensité croît à mesure que la pression s'abaisse.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 599 ; 27 juin 1896.

Bientôt cette intensité atteint son maximum, puis décroît lentement à mesure que la raréfaction se poursuit.

Si on fait aussi varier la longueur du tube, on trouve que l'intensité maxima possible pour les rayons X varie également. D'après ces observations l'auteur croît qu'un tube dont la longueur est 10 fois le diamètre intérieur est la forme qui convient la mieux.

On obtient avec les tubes de M. Righi des effets radiographiques très remarquables. La méthode de construction est simple et rapide. On peut, en effet, construire un tube de ce genre en quelques minutes, ensuite on fait le vide intérieur à l'aide d'une petite pompe à mercure ; la raréfaction peut être amenée au point juste en moins d'un quart d'heure.

Pour construire ces tubes, on prend, dit l'auteur, un bout de tube de verre à parois épaisses de 15 cm de longueur, 0,8 cm de diamètre intérieur et 1,6 cm de diamètre extérieur, on introduit ensuite l'une des extrémités de ce tube dans un dé en aluminium, lequel doit être assez large pour le tube arrive jusqu'au fond. Le dé employé par l'auteur est un de ces dés à coudre en aluminium que l'on rencontre couramment dans le commerce. L'espace vide entre le bourrelet du dé et le tube est rempli avec un peu de cire d'Espagne, en ayant soin toutefois qu'il n'en tombe pas dans le fond.

Par l'autre extrémité du tube, laissée libre, on introduit la cathode et le petit tube de verre devant servir à établir la communication avec la pompe. On remplit également de cire tous les interstices. La cathode n'est autre qu'un petit disque d'aluminium de 1 à 2 mm d'épaisseur et 7 mm de diamètre, placée à environ 8 cm du fond du tube et fixée à une petite tige de même métal qui se prolonge à l'extérieur.

Il est nécessaire pendant le fonctionnement du tube ainsi construit, de maintenir le dé immergé dans de l'eau, afin d'empêcher la cire des joints de fondre. Par exemple, si le tube doit fonctionner verticalement, le dé en bas, on immerge ce dernier dans l'eau con-

tenue dans un récipient à fond d'aluminium, en ayant soin que le dé touche le fond, condition très importante.

Les effets obtenus avec ces tubes sont, d'après l'auteur, très caractérisés. Avec un courant de 15 ampères lancé dans une bobine à interrupteur à mercure produisant de 10 à 12 interruptions par seconde et donnant, entre deux sphères en laiton de 4 cm, une étincelle longue de 8 cm, il a obtenu, pour une pose de 120 secondes, une radiographie très nette des os de sa main, sur une plaque photographique placée à 12 cm du tube. Une autre expérience faite sur un fœtus de 4 mois permit d'obtenir une ombre très nette sur laquelle on découvrait à la loupe de très petits détails, ce qui porterait à croire que pour les parties du sujet qui, pendant la pose, n'étaient pas trop éloignée de la couche sensible, la finesse des détails ne serait limitée que par la granulation de la plaque.

En portant l'intensité du courant à 24 ampères, il a obtenu une belle photographie des os de la main avec une durée de pose de 10 à 20 secondes et en tenant la plaque sensible à 10 cm du tube.

En rapprochant ensuite à 7 cm, il a obtenu une ombre distincte des os de la main avec une seule interruption, soit une seule décharge de courant, ce qu'on peut considérer comme une photographie instantanée.

Si on augmente encore le courant d'induction dans la bobine, les photographies instantanées deviennent parfaites même au point de vue de l'intensité du ton, seulement il faut alors augmenter un peu les parois du tube afin qu'elles puissent résister.

Ces tubes de construction simple ne peuvent se séparer de la pompe, sinon la pression intérieure croît avec le temps et surtout par l'usage.

Avec le tube relié à la pompe on a l'avantage de pouvoir, avant chaque expérience, porter la pression à sa valeur la plus avantageuse et obtenir par suite l'effet maxima nécessaire à la bonne réussite des épreuves radiographiques. L. D.

BIBLIOGRAPHIE

Petite Encyclopédie électro-mécanique, publiée sous la direction de HENRY DE GRAFFIGNY. — Paris, *E. Bernard et Cie*, éditeurs. 1896.

Nous avons reçu les deux premiers volumes de cette petite Encyclopédie qui comprendra douze volumes consacrés aux sujets suivants :

N° 1. — Manuel élémentaire d'électricité industrielle.

N° 2. — Manuel du conducteur de dynamos et moteurs électriques.

N° 3. — Les piles et les accumulateurs.

N° 4. — Les canalisations électriques.

N° 5. — Chauffeur-conducteur de machines à vapeur.

N° 6. — Conducteurs de moteurs à gaz et à pétrole.

N° 7. — Guide pratique d'éclairage électrique.

N° 8. — Le monteur-appareilleur électricien.

N° 9. — Transport électrique des forces motrices.

N° 10. — Les réseaux téléphoniques et sonnettes.

N° 11. — Guide pratique de l'électrochimiste.

N° 12. — L'électricité pour tous. — Applications diverses.

L'auteur n'est pas un savant et n'a pas cherché à se montrer sous ce jour ; il a réuni des renseignements sur les sujets traités et les a exposés à un point de vue élémentaire, le plus convenable pour les lecteurrs auxquels il s'adresse. Des incorrections lui ont échappé, comme par exemple, de ranger les aéromètres de Baumé, Cartier et Gay-Lussac sous la rubrique « Chaleur », ce qui indique une certaine confusion dans son esprit.

Ces petits ouvrages sont d'ailleurs édités avec soin et de nombreuses figures facilitent la compréhension du texte.

G. P.

CHRONIQUE

Belfast. Station centrale et éclairage. — La ville de Belfast, comme beaucoup de grands centres, a mis quelque lenteur avant d'adopter la lumière électrique pour l'éclairage municipal. Les raisons de ce retard étaient que la Corporation de Belfast détenait le monopole de l'éclairage au gaz et, avant de créer une station centrale d'électricité, avait attendu que d'autres tentassent l'expérience. Dès 1882, quelques compagnies privées établirent plusieurs petites stations qui fournissaient du courant à des abonnés dont le nombre s'accroissait de jour en jour. La Corporation s'émut de ce développement et prit soudainement une décision définitive. Vers le mois de septembre 1889, elle fit les démarches nécessaires auprès du Board of Trade pour transformer l'usine à gaz en station centrale. Un comité dont les membres furent choisis par la Belfast Corporation alla visiter plusieurs installations importantes à Londres et dans les environs, dans le but de recueillir des renseignements relativement à une installation projetée de 10,000 lampes de 8 bougies. C'est en 1892, que les premiers travaux, sous la direction du professeur A. B. W. Kennedy, furent commencés.

L'installation générale, aujourd'hui en cours d'exploitation, comprend une station centrale située entre Chapel-Lane et Marquis Street à environ 200 mètres du centre de la ville. L'équipement de cette station se compose de :

1° 4 moteurs à gaz de 120 chevaux chacun, actionnant à l'aide d'une transmission par câbles 4 dynamos à courant continu d'une capacité individuelle de 57,6 kilowatts à 240 volts, 240 ampères et 600 révolutions par minute ;

2° 2 moteurs à gaz de 150 chx chacun couplés directement à deux dynamos de 72 kilowatts à 240 volts, 300 ampères et 380 révolutions ;

3° un troisième groupe composé de 2 moteurs de 60 chx actionnant par transmission deux unités de 26,4 kilowatts à 750 révolutions par minute.

Le gaz nécessaire à la marche de tous ces moteurs est amené par une conduite formée de tuyaux en fonte de 20 cm de diamètre branchée sur l'une des conduites principales de la canalisation de la ville et distribué à chacun des moteurs par un tuyau de dimensions appropriées à leur puissance et muni d'une poche et valve de régulation. Le démarrage des moteurs à gaz s'opère soit électriquement, soit à l'aide de l'air comprimé contenu dans un réservoir approvisionné pendant la marche par plusieurs petits compresseurs actionnés indépendamment par les moteurs à gaz. L'inflammation s'obtient à l'aide de tubes chauds en fer, acier-nickel ou porcelaine. Chaque moteur est, en outre, pourvu d'un amortisseur destiné à étouffer le bruit des explosions. Les gaz brûlés s'échappent par un tuyau placé à la partie inférieure du moteur et débouchant dans une conduite souterraine dans laquelle aboutissent les tuyaux d'échappement de tous les moteurs.

Les dynamos construites par la maison Siemens Brothers sont du type bipolaire à tambour et enroulement shunt. Les armatures des deux unités de 26,4 kw sont à double enroulement chacun aboutissant à un collecteur séparé. Au moyen d'un commutateur ces deux enroulements peuvent être mis en série ou en parallèle, soit que l'on veuille obtenir du courant à 110 ou 120 volts pour la charge d'une batterie d'accumulateurs, ou du courant à 240 volts pour le réseau de distribution.

Le tableau de distribution composé de cinq panneaux en marbre est pourvu de tous les appareils de distribution, de mesure et de sûreté nécessaires, plus des ampèremètres enregistreurs, dont un pour chaque dynamo, permettant de voir la quantité de courant délivrée individuellement. Des voltmètres statiques multi-cellulaires, Kelvin sont seuls employés pour les mesures de tension.

L'un des panneaux est affecté aux appareils nécessaires à la charge et décharge de la batterie d'accumulateurs. Cette dernière, placée dans un des locaux de l'usine, se compose de 126 éléments de la Electric Power and Storage C°. La capacité de chaque élément est de 500 ampères-heures, avec un taux moyen de décharge de 100 ampères. Outre cette batterie, 8 éléments du même type maintenus constamment chargés servent, en cas de besoin à remplacer un élément devenu défectueux de la batterie.

Le courant engendré à la station génératrice est réparti sur un réseau de distribution du système à trois fils à basse tension (220 volts). Les feeders parcourant les principales artères de la ville, sont logés dans des caniveaux en ciment d'où partent les branchements de répartition. Des fils pilotes logés conjointement aux feeders permettent de vérifier la tension dans tous les points du réseau. Les lampes alimentées sont, pour la plupart à 220

volts ou à 110 volts réunies par paires en série. Les moteurs d'une puissance supérieure à 1 cheval sont alimentés avec du courant à 220 volts. Les compteurs employés sur tout le réseau sont du type Ferranti.

Dès les débuts de l'exploitation, en janvier 1895 le nombre de lampes raccordées était de 2 300, ce nombre est aujourd'hui porté à 13 500.

La charge maxima d'alimentation s'est élevée à 159 kilowatts ce qui correspond à 5 300 lampes de 30 watts.

Caracas (Vénézuéla). — *Utilisation de chutes d'eau.* — Nous apprenons que la Compagnie anonyme d'Électricité de Caracas vient d'envoyer une délégation compétente pour visiter et étudier la disposition de la puissante station hydraulique des chutes du Niagara dans le but d'utiliser l'énergie perdue de deux chutes dont la Compagnie s'est rendue acquéreur. Ces chutes produites par les eaux du El Guaire River pourront fournir 3000 chx en énergie électrique à la ville de Caracas.

Le Caire — (Egypte). — *Traction.* — Le réseau de tramways électriques de la ville du Caire, installé par la Union Electricitaetgesellschaft de Berlin, pour le compte de la Société générale des chemins de fer économique de Bruxelles, a été inauguré le 1er août dernier, Le réseau qui sillonne la ville en tous sens, à une longueur totale de 40 kilomètres. Il est desservi par 40 voitures motrices et 20 de remorque. L'énergie électrique est fournie par une station centrale pourvue de moteurs à vapeur, dont les chaudières sont alimentées par les eaux du Nil à l'aide d'une pompe très puissante actionnée par une roue hydraulique installée sur le fleuve.

Mexico (Mexique). — *Éclairage.* — Là question des tramways étant réglée, la ville de Mexico, désirant aussi s'éclairer à la lumière électrique, fait appel aux propositions des personnes qui pourraient se charger de l'entreprise du nouvel éclairage. La première installation comprendra : 480 lampes à arc d'une intensité lumineuse de 2000 bougies chacune et 120 autres lampes de 1200 bougies, soit 600 lampes à arc, et en plus 150 lampes à incandescence d'une intensité de 50 bougies chacune; cette première installation pourra être suivie d'autres installations successives. Pour les détails des clauses et conditions, s'adresser au consulat du Mexique, de deux à cinq heures de l'après-midi, où des exemplaires sont à la disposition des personnes qui désireraient en prendre connaissance.

Mulhouse. — *Station centrale.* — L'installation électrique de la nouvelle fonderie établie à Mulhouse, par la Société Alsacienne de constructions mécaniques, constitue un enseignement pour la plupart des établissements qui se développent graduellement. Notre confrère *Revue Industrielle*, nous donne les renseignements suivants :

A la suite d'une visite qui en a été faite par la Société industrielle de cette ville, M. de Glehn a résumé, dans une note courte et concise, les avantages qu'offre la création d'une station centrale pour la production du courant électrique de lumière et de force dans un établissemens industriel. C'est d'abord, en général, une réduction notable des frais d'installation et de surveillance auxquels donnent lieu les dynamos isolées, installées en plusieurs endroits; puis, en particulier dans une fonderie, une facilité si grande de la conduite des grues par l'électricité qu'il n'y a pas lieu d'hésiter à adopter ce mode de commande.

La fonderie en question occupe actuellement 250 ouvriers et produit par mois environ 250 000 kg de pièces finies. L'éclairage des ateliers et des cours avoisinantes prend environ 30 à 35 chx, et la conduite des grues, ventilateurs et appareils divers, exigerait 215 chx, dans l'hypothèse qui ne se présente évidemment jamais, de la marche simultanée et à pleine charge de tous les moteurs installés.

On a renoncé à installer à la fonderie même les dynamos et moteurs nécessaires, et on s'est résolu à créer, à proximité d'une batterie de chaudières existantes, augmentée à cet effet, une station centrale assez importante, non seulement pour produire le courant électrique nécessaire à la fonderie, mais encore pour permettre de supprimer les dynamos isolées de l'éclairage, qui se trouvaient dans différents endroits de l'usine, et de fournir le courant à des moteurs électriques qui seront installés au fur et à mesure des besoins, soit pour actionner tel ou tel atelier nouveau, soit pour commander des machines-outils que l'on voudra faire travailler de nuit sans avoir à mettre en marche toutes les transmissions.

Une fois l'installation ainsi prévue, on a dû se poser une question qui, depuis quelques années, s'est présentée bien souvent aux industriels. Courant continu, alternatif ou polyphasé ?

Rien n'aurait justifié l'emploi du courant alternatif avec lequel on ne peut obtenir, quant à présent, le démarrage en charge.

Le courant continu présente des avantages au point de vue de l'éclairage par arc ; il oblige à employer des moteurs portant des collecteurs et des balais et à munir de rhéostats de mise en marche tous ceux dont la puissance dépasse 1 cheval environ ; sans cette précaution, les collecteurs et les balais souffriraient beaucoup et l'induit pourrait parfois être détérioré.

Le courant polyphasé permet d'employer des moteurs dépourvus de ces organes et pouvant être embrayés sans rhéostats de mise en marche, au moins en ce qui concerne les puissances inférieures à une vingtaine de chevaux. Ce sont là les avantages souvent cités du courant polyphasé. En outre, dans une installation de fonderie, les appareils de levage opèrent souvent sur des pièces dont l'enlèvement exige un effort qui est bien supérieur au poids de la pièce et dont la valeur est inconnue. Un châssis qui se trouve dans le sable, exige un effort considérable pour l'en détacher et cet effort diminue au fur et à mesure qu'on l'en dégage.

Or, un moteur à courant continu peut produire un couple plusieurs fois supérieur au couple normal. Dans l'enlevage des châssis, on est ainsi exposé à produire des efforts plusieurs fois supérieurs aux efforts normaux pour lesquels l'ensemble est calculé.

Pour obvier à cet inconvénient, on a fait usage, dans certaines installations, d'interrupteurs automatiques qui coupent le courant lorsque son intensité dépasse une certaine valeur. Les moteurs à courant polyphasé ne démarrant, en général, qu'avec un couple peu supérieur au couple normal, on peut facilement les calculer de façon à obtenir exactement tel couple maximum, de sorte que le moteur ne démarre pas si le couple résistant dépasse 30 pour 100, par exemple le couple moteur normal.

Les efforts que peut produire le moteur sont ainsi limités par la construction du moteur même.

D'un autre côté, le courant des moteurs polyphasés de puissance moyenne peut être renversé rapidement, brutalement, sans inconvénient pour le moteur, ce qui n'est pas le cas pour les moteurs à courant continu.

En résumé, il y aurait pour les courants polyphasés les avantages suivants :

1° Absence de collecteurs et de balais ;

2° Absence de rhéostats pour les moteurs de force moyenne ;

3° Absence de l'appareil automatique ;

4° Possibilité d'agir brutalement sur la mise en marche et sur le renversement, sans danger pour les moteurs.

Il est juste de dire que les deux premiers de ces avantages ne sont obtenus qu'au prix d'autres inconvénients,

En effet, l'absence de ces appareils accessoires donne lieu fatalement, au moment de la mise en marche des moteurs, à un appel de courant anormal et, par suite, à une baisse de tension assez notable. Cette baisse de tension est sans importance pour les moteurs, mais elle ne permet guère d'obtenir un éclairage suffisamment fixe.

En bénéficiant des avantages en question du courant polyphasé, on se condamnait donc d'avance à ne brancher les lampes ni sur le même circuit, ni sur la même génératrice que les moteurs, c'est à dire à établir une génératrice spéciale pour la lumière.

La possibilité d'admettre des manœuvres très brusques aux moteurs polyphasés, l'absence de soins quelconques à ces moteurs, ont paru des avantages suffisants pour justifier l'emploi de deux génératrices distinctes.

Le courant polyphasé a donc été admis pour la force et le courant continu pour la lumière.

La station centrale contient actuellement deux ensembles électrogènes, l'un pour la lumière, l'autre pour la force motrice ; on a construit de suite un bâtiment assez grand pour qu'il puisse encore recevoir quatre groupes quand le besoin s'en fera sentir.

Le premier ensemble est composé d'une machine-pilon à triple expansion de 150 chx, faisant 235 tours par minute et conduisant une dynamo à courant continu de 250 volts et 400 ampères. Il alimente 120 lampes à arc et 400 lampes à incandescence ; il sert aussi à la charge d'une batterie d'accumulateurs.

Le deuxième ensemble comporte une machine à vapeur du même modèle, mais marchant à 210 tours par minute, et conduit un alternateur à courant triphasé, type Belfort, donnant une tension simple de 190 volts et une intensité de 400 ampères. L'induit de cette machine est fixe et l'inducteur mobile ; elle a été calculée pour un rendement très élevé et n'a que 1,5 pour 100 d'énergie absorbée par l'excitation.

Les moteurs alimentés par ce deuxième ensemble sont les suivants :

6 ponts roulants avec chacun trois moteurs, soit.	18 moteurs
1 grue avec deux moteurs. .	2
1 perceuse électrique	1
1 moteur pour la sablerie . .	1
1 ascenseur électrique	1
2 ventilateurs électriques. . .	2
Total	25 moteurs

Tous les moteurs au-dessus de 20 chx sont munis d'induits en court-circuit, c'est à dire qu'ils n'ont ni bagues ni balais ; tous les autres ont des induits à bague et sont mis en marche graduellement à l'aide d'un rhéostat intercalé dans l'induit.

D'autres ensembles électrogènes doivent être ajoutés à la station centrale pour la commande d'un nouvel atelier.

On voit avec quelles facilités une distribution d'énergie électrique se prête au développement ou à l'amélioration d'une usine existante.

Salt-Lake-City. — Station centrale et éclairage. — En vue de répondre aux nombreuses demandes d'éclairage électrique public et privé, la Compagnie d'Éclairage de Salt Lake City s'est vue contrainte à augmenter la production de la station actuelle. Déjà l'année dernière la Compagnie a pour cette raison, passé un contrat avec la Big Cottonwood Power Company par lequel cette dernière s'est engagée à construire et à équiper une station hydraulique utilisant les eaux du Cottonwood Canyon et produisant l'énergie électrique qui sera transmise à Salt Lake City distant d'environ 23 kilomètres. Les alternateurs à la station de Cottonwood Canyon produiront du courant triphasé sous une tension de 10 000 volts ramenée à 2000 par la station transformatrice de la ville.

En outre de ce projet la Compagnie d'Éclairage a décidé de construire une station à courant triphasé d'une capacité suffisante pour alimenter les lampes à incandescence du centre commercial de la ville. La nouvelle station de Salt Lake City est érigée depuis la fin de l'année 1895 et possède 3 alternateurs à courant triphasé avec leurs dynamos excitatrices. Deux des alternateurs ont une capacité de 150 kilowatts; l'autre est de 50 kilowatts ils sont entraînés par trois machines séparées. La tension aux bornes des deux grands alternateurs est de 2300 volts et l'intensité de 37 ampères avec une vitesse angulaire de 600 tours par minute ; l'alternateur de 40 kilowats produit du courant avec la même tension de 2300 volts seulement l'intensité n'est que de 13 ampères. Les constructeurs ont garanti pour les alternateurs un rendement commercial de 94 pour cent en pleine charge et un échauffement des pièces tournantes ne dépassant pas 16° centigrades après 10 heures de marche à pleine charge. Depuis l'installation de ces machines il n'a pas encore été permis de s'assurer du rendement garanti, seulement la température indiquée n'a pas été dépassée et aucune étincelle ne s'est produite aux collecteurs pendant le fonctionnement des alternateurs sous des charges diverses.

Le tableau de distribution se compose de 5 panneaux en marbre; 3 d'entre eux portent les commutateurs respectifs de chacun des alternateurs et sont divisés en trois groupes séparés ; le quatrième panneau est affecté aux instruments de mesure et le cinquième aux commutateurs du circuit à haute tension et voltmètres. Les conducteurs à haute tension sont reliés à des bandes connectrices en cuivre qui sont fixées sur la face arrière du tableau. D'autres bandes de cuivre également disposées à l'arrière du tableau servent à établir les connexions entre tous les enroulements et portent trois coupe-circuits magnétiques Thomson-Houston munis chacun d'un protecteur additionnel consistant en un gros fil de cuivre enroulé à plat et interposé entre le coupe-circuit et l'alternateur correspondant.

Chacun des alternateurs possède un transformateur dont les connexions établies avec les bandes de prise de courant permettent, au moyen d'un petit commutateur, d'utiliser ce transformateur pour l'allumage d'une lampe témoin ou pour être mis en série avec les autres transformateurs pour la synchronisation.

L'intensité efficace du courant, mesurée à pleine charge sur l'un des deux conducteurs des deux grands alternateurs fut de 37 ampères, et pour le plus petit de 13. Le total de l'intensité efficace dans les trois conducteurs est 1,73 fois celui d'un seul fil, ce qui équivaut à un rapport entre les ordonnées d'une courbe sinusoïdale, et celles ajoutées, de trois courbes sinusoïdales avec des angles de phase de 120°.

Sur le panneau affecté aux instruments de mesure sont disposés trois ampèremètres, indiquant l'intensité totale sur chacune des branches du circuit des alternateurs et un watmètre pour courant triphasé Thomson ; ce dernier est une modification

du compteur du même nom, il se compose de trois compteurs séparés dont les armatures sont montée toutes sur un même pivot. Un voltmètre enregistreur complète le groupe des instruments de mesure.

Les quartiers extérieurs sont actuellement éclairés par des lampes alimentées par du courant alternatif monophasé produit par l'ancienne station centrale de Salt Lake City. Le réseau de distribution sera transformé en un circuit à trois fils et un à quatre dès que l'usine en cours d'installation de Cottonwood Canyon sera prête à transmettre les 10 000 volts en courant triphasé destinés à l'éclairage public et privé des quartiers de résidences.

La tension dans les feeders du réseau actuel est de 1000 volts, des transformateurs réduisent cette tension à 52 volts pour l'utilisation. Dans la prochaine installation la tension sera de 2000 volts dans les circuits primaires et de nouveaux transformateurs ramèneront cette tension à 104 volts dans les conducteurs secondaires. Les câbles seront supportés par des pylônes et dans des conditions analogues à celles du centre de la ville relativement aux connexions avec les transformateurs; pour ces derniers il est question d'en placer deux par poste, un grand pour 100 lampes, par exemple, et un petit pour 20 lampes; tous seront reliés par un coupe-circuit automatique qui permettra de supprimer le plus grand des transformateurs pour la charge de jour et d'alimenter les lampes allumées au moyen du plus petit.

On évitera ainsi les pertes de courant du à l'emploi d'un transformateur d'une capacité trop grande proportionellement au courant utilisé.

Ymuiden (Hollande). — Transport de force. — La ville d'Ymuiden ayant fait construire, ainsi que nous l'avons déjà annoncé (*L'Écl. Élect.*, t. II), le canal d'Amsterdam, vient, après une étude approfondie, d'adopter l'énergie électrique pour la manœuvre des portes, des vannes et des cabestans. La nouvelle écluse est paraît-il la plus grande du monde, elle a une longueur de 200 m et est large de 25 m. L'installation électrique ne comptera pas moins de 36 moteurs distribués comme il suit : 12 de 45 chx pour la manœuvre des vannes; 12 de 20 chx pour celle des portes d'écluses et 12 de 35 chx appliqués au fonctionnement des cabestans. L'énergie électrique sera fournie par une station centrale pourvue de 2 moteurs à vapeur de 100 chx actionnant séparément plusieurs groupes de dynamos. L'usine fournira également du courant aux lampes qui seront réparties aux environs du poste d'éclusage.

DIVERS

Quelques expériences sur les rayons X. — M. N. Vandevyver, répétiteur de l'Université de Gand, décrit dans un des derniers numéros de *La Nature* quelques expériences qu'il a faites dans le but de reconnaître si une variation de la température d'un métal ou le passage d'un courant électrique à travers un fil métallique modifient la manière dont se comportent ces corps vis à vis des rayons X. Bien que ces expériences n'aient donné que des résultats négatifs, il y a néanmoins quelque intérêt à les mentionner.

L'agent calorifique est, dit M. Vandevyver, celui que nous avons fait intervenir d'abord, et nous avons opéré en premier lieu sur des métaux opaques aux rayons X : fer cuivre, etc.

En vue d'éviter la détérioration de la couche sensible de la plaque photographique, nous avons employé l'artifice suivant :

Après avoir mis la plaque dans une gaine de papier noir nous avons recouvert cette dernière d'une feuille de liège, corps très mauvais conducteur de la chaleur, en même temps que transparent aux rayons Roentgen. Puis le liège lui-même était préservé par une plaque d'aluminium, transparente aux rayons dont il s'agit.

Pour chaque substance, fer, cuivre, etc., nous avons fait choix de plaques d'une épaisseur uniforme et suffisante pour être opaques aux rayons X.

Chaque plaque était ensuite coupée en deux, et les deux parties étaient photographiées simultanément; mais, tandis que l'une des moitiés était à la température ordinaire, l'autre était chauffée au rouge, puis déposée rapidement sur la plaque d'aluminium (à côté de la moitié servant de plaque témoin) et soumise au même instant pendant dix secondes à l'action des rayons X.

Au développement, les images des deux moitiés se présentent identiquement de la même façon.

L'expérience a été faite ensuite avec des plaques de métal transparent aux rayons (aluminium). La radiographie est la même que la plaque soit chauffée ou froide.

En résumé au point de vue radiographique, les métaux, qu'ils soient opaques ou transparents aux rayons X semblent se comporter de la même manière à froid qu'à chaud.

Nous avons ensuite étudié l'influence d'un courant électrique sur une substance opaque aux rayons X.

A cet effet, nous nous sommes servi d'un petit solénoïde en platine, dans lequel nous avons lancé un courant dont l'intensité allait en croissant jusqu'à amener le métal au rouge blanc.

Le solénoïde a été photographié à divers moments de l'expérience, et toujours il nous a donné le même résultat que la radiographie prise lorsque le platine n'était parcouru par aucun courant.

De plus, des substances magnétiques placées à l'intérieur de ce petit solénoïde sont restées également opaques aux rayons X, quelle que fut la variation du champ magnétique.

La fabrication des fers et aciers Robert. — Le fer et l'acier ont, dons la construction des dynamos, une importance trop considérable pour qu'il n'en soit pas parlé dans un journal d'électricité. Aussi nous paraît-il intéressant de signaler les fers et aciers que fabrique la maison Robert de Paris. Nous empruntons, à ce sujet, quelques détails à l'*Ingénieur Civil.*

C'est en cherchant à modifier le procédé Bessemer pour le rendre plus accessible à des usiniers de petite et de moyenne importance, et ensuite capable de donner un métal parfaitement homogène et toujours identique à lui-même que M. Robert a créé et perfectionné, depuis plusieurs années, un nouveau type de convertisseur qui aujourd'hui résout d'une façon absolue le problème de la fabrication économique de l'acier. L'emploi de ce convertisseur, à garniture acide ou à garniture basique, donne au gré de l'opérateur toutes les qualités, depuis les fers les plus doux jusqu'aux aciers pour outils, et conserve au bain métallique assez de chaleur et de fluidité pour que l'on puisse couler en acier doux ou dur les moulages les plus délicats comme les pièces les plus lourdes. La cornue, de forme sensiblement elliptique, possède une face plane sur laquelle débouchent des tuyères toujours disposées sur une même ligne horizontale parallèle à l'axe de l'appareil. Elle reçoit un mouvement de bascule autour de ses tourillons, supportés par des paliers convenables. Les tuyères, amenées horizontalement, forment avec la face plane des angles inégaux dont l'ouverture varie avec la forme donnée à la section transversale de l'appareil, et cela dans le but d'imprimer au bain un mouvement giratoire qui amène successivement les molécules du métal sous l'action oxydante du vent. Dans ce mouvement de rotation il se produit un remous qui change méthodiquement de place les molécules des couches en mouvement et empêche l'oxydation trop prolongée d'une même couche de métal. Dès que la fonte à traiter est introduite dans la cornue, on redresse cette dernière jusqu'à ce que la fonte vienne affleurer les tuyères et on donne le vent. Sous l'action de l'air lancé par la rangée de tuyères diversement inclinées sur la face plane, le mouvement giratoire se produit peu à peu. Lorsque ce mouvement, qu'accuse à l'extérieur la forme en hélice du jet d'étincelles, est bien indiqué, on relève progressivement l'appareil ; mais le bain ne vient pas s'étaler horizontalement ; sa surface s'incline sur l'horizon et prend la position inclinée sous l'influence des forces agissantes. Les molécules du métal viennent donc successivement et à plusieurs reprises se soumettre à l'action de l'air soufflé. La scorie et les gaz, par suite de la différence de densité, se séparent du métal, et le mouvement giratoire imprimé à la masse favorise cette séparation. Par suite de la position des tuyères, une partie seulement de l'air introduit près de la surface constamment renouvelée du bain agit sur le carbone de la fonte pour le transformer en oxyde de carbone. Cet oxyde de carbone s'élevant dans l'appareil y rencontre immédiatement un excédent d'air et produit de l'acide carbonique avec grand dégagement de chaleur. L'air étant lancé obliquement, il se produit un mélange intime des gaz, et la combustion s'opère à la surface même du bain où règne une atmosphère à haute température, au contact de laquelle les molécules du métal viennent constamment se réchauffer.

Il est facile de comprendre que, en inclinant plus ou moins le convertisseur et en agissant sur la valve d'admission de l'air, l'opérateur pourra, à sa volonté, soit faire varier le volume et la pression de l'air injecté, suivant les besoins correspondant aux différentes phases d'une opération, soit arrêter instantanément l'opération, lorsque à l'aspect de la flamme il la jugera assez avancée. Les indications générales que nous venons de donner s'appliquent indistinctement au convertisseur à garniture acide et au convertisseur à garniture basique. Les aciers Robert se divisent en cinq classes :

La première convient pour broyeurs à quartz et à minerais, concasseurs, meules, trépan de soudage etc., se forge rouge sombre, se trempe très sombre, faire revenir bleu.

La seconde classe convient pour broyeurs à quartz et à minerais, concasseurs, meules, trépans de soudage, outils de mine, etc., se forge au cerise sombre, se trempe au rouge sombre, faire revenir gorge pigeon.

La troisième classe convient pour roues d'engrenages, pignons, glissières, matrices, marteaux, outils de mines, socs de charrue, etc., se forge cerise, se trempe au cerise sombre, faire revenir au jaune paille ; soudable avec précaution.

La quatrième classe convient pour pièces de pilons, étampes, marteaux et pièces mécaniques, hélices, pièces d'affût, pièces de constructions navales, etc., se forge au blanc, se trempe au rouge cerise, sans faire revenir ; soudable.

La dernière qualité spéciale est destinée aux pièces travaillant à la traction et à la flexion, arbres, bielles, manivelles, supports, etc. Remplaçant les pièces en fer forgé, se forge au blanc soudant, peut-être ressué, prend une trempe légère au rouge blanc. Soudable.

En outre des cinq qualités qui précèdent, il est fabriqué une qualité spéciale pour électros de dynamos en acier doux, sans manganèse et jouissant de qualités magnétiques exceptionnelles.

Tous les moulages d'acier se forgent sans précaution autre que celle qu'indique leur dureté. Les trois dernières qualités se soudent à elles-mêmes ou au fer. La dernière qualité est un véritable fer fondu.

Les résistances varient de 40 à 90 kilogrammes par millimètre carré, et les allongements atteignent de 5 à 32 sur 100 millimètres.

La densité du métal Robert simplement coulé a été trouvée exactement la même qu'après forgeage; on a fait officiellement les expériences en découpant exactement des cubes identiques dans les deux matières coulées et forgées. Il en résulte que les hautes températures forgent les métaux, si l'on peut s'exprimer ainsi, c'est-à-dire que les propriétés physiques des aciers ne sont pas les mêmes que pour les aciers produits à température plus basse. Ainsi l'on obtient un métal à 65 et 70 kilogrammes de résistance par millimètre carré absolument soudable ainsi que le vérifie l'expérience. Le métal destiné à remplacer la pièce de forge donne, brut de fonderie, sans laminage, 50 à 55 kilogrammes par millimètre carré avec 25 à 20 pour 100 d'allongement sur barreaux découpés à froid dans la masse.

La fabrication des aciers Robert, commencée en 1885, a nécessité la création successive des usines de Stenay, de Paris, de Lens, où on coule des pièces de 15 000 kilogrammes, de Nantes et de différentes usines en Angleterre (Société Brown et Cie) ; en Espagne (Socaya, ateliers Deusto).

L'acier Robert est un acier qui est très utilisé dans les constructions des machines dynamos.

Application de l'électro-aimant en chirurgie. — A plusieurs reprises, nous avons signalé des applications de l'électro-aimant pour retirer du corps humain des parcelles de fer ou d'acier. M. F. Crestin décrit dans *La Nature* du 22 août, une nouvelle application de ce genre qui montre qu'il n'est nullement nécessaire de recourir à un électro-aimant très puissant et qui, pour cette raison, mérite d'être signalée.

Il y a trois semaines, dit M. Crestin, un médecin s'adressa à moi en me priant de l'aider dans une tentative qu'il voulait faire pour extraire une aiguille d'une main humide et me raconta ce qui suit :

Une blanchisseuse du nom de Krachennikowa, s'étant enfoncé dans la paume de la main une aiguille brisée en lavant son linge, était venue le trouver le priant de lui porter secours ; cette aiguille qui avait pénétré dans la paume de la main droite, remontait chaque jour davantage vers le poignet, et les médecins n'ayant aucune possibilité de constater exactement la place de cette aiguille, refusaient de faire une opération à l'aveuglette, dans la crainte d'être obligés de faire des incisions multiples dans la paume de la main, de sorte que depuis deux mois cette pauvre femme était privée de l'usage de sa main droite, vu que le moindre mouvement des doigts lui causait des douleurs atroces.

A l'examen, la main de cette blanchisseuse ne présentait rien d'anormal et l'on n'apercevait aucune trace de la pénétration de l'aiguille dans la paume de sa main. En palpant cette main, on ne pouvait non plus déterminer la place de l'aiguille, qui, d'après le dire de cette femme s'était cassée par la pointe dans sa main.

Dans de telles conditions, je craignis d'employer d'un coup un fort électro-aimant, et je renonçai à ma première idée de soumettre la main de la

femme Krachennikowa à l'action du champ magnétique d'une puissante machine dynamo. Je proposai donc au docteur Gorinewski de commencer notre expérience avec un faible électro-aimant et de la continuer le plus longtemps possible. Il consentit à ma proposition et j'arrêtai alors mon choix sur un électro-aimant appartenant au Musée pédagogique des établissements d'éducation militaire et dont la destination ordinaire était de servir à la démonstration des effets du diamagnétisme. Je choisis cet électro et non un autre à cause de la disposition de ses extrémités polaires, qui, étant en pointes et mobiles, me permettaient d'appliquer commodément l'une des deux sur la partie de la paume de la main par laquelle je voulais faire sortir l'aiguille et, par conséquent, de diriger son mouvement à l'intérieur de la main.

Bien que nous supposions que l'aiguille était entrée par la pointe et que cette pointe était tournée vers la jointure du poignet, nous eûmes peur, vu la structure compliquée de cette partie de la main, de diriger le mouvement de l'aiguille vers le poignet, et nous nous décidâmes à faire marcher l'aiguille dans la direction des doigts, bien qu'alors l'aiguille dût progresser sa partie brisée en avant.

Ayant déterminé le point de sortie de l'aiguille, nous fîmes asseoir la femme Krachennikowa en face de l'électroaimant et posâmes sa main malade sur l'une des extrémités polaires de l'appareil, nous fîmes alors passer dans ce dernier le courant de trois éléments Poggendorff.

La première séance dura deux heures, avec de courtes intervalles de repos, sans que notre patiente ressentit quoique ce soit dans la paume de sa main. Ce ne fut qu'après plusieurs séances semblables que la femme Krachennickowa nous déclara ressentir un picotement dans la partie affectée de plus en plus près de l'endroit d'application du pôle de l'électro.

Cette déclaration nous encouragea à poursuivre notre tentative, bien qu'à l'intérieur rien de nouveau ne semblait s'y manifester. Notre fermeté et la patience de la malade furent enfin récompensées car pendant la neuvième séance l'aiguille sortit enfin, son bout cassé en avant, sans douleur et sans perte de sang, et resta fixée au pôle de l'électroaimant. Il n'est pas besoin de dire quelle fut la joie de notre patiente ; la nôtre, du reste, d'avoir réussi une pareille tentative, ne fut pas moindre.

Ainsi, vingt heures environ de l'action d'un électroaimant, dont la force attractrice sur l'aiguille au contact était de 3 grammes, suffirent à extraire des profondeurs de la main cette aiguille qui s'y trouvait depuis deux mois.

Règlements relatifs à l'emploi du carbure de calcium et de l'acétylène en Italie. — Le conseil Municipal de Rome vient de prescrire des règlements relativement à l'emploi du carbure de calcium et l'acétylène. En voici les principaux passages : les magasins d'approvisionnements et les dépôts de carbure de calcium, sous réserve des dispositions de la loi, devront être soumis à toutes les prescriptions des articles 5 et 7 relatifs aux dépôts de pétrôle (distance de 75 m de toute habitation, clôturée par un mur de 3 m de hauteur, conservation en récipients métalliques, etc).

La vente de cette matière se fera en caisses de tôle soudées et hermétiquement closes d'un poids déterminé, portant l'inscription « explosible ». La quantité de carbure contenue dans chaque caisse sera déterminée par l'autorité municipale.

Relativement à l'acétylène les règlements portent que : les installations particulières d'appareils producteurs de gaz feront l'objet d'une demande d'autorisation à l'autorité municipale etc. Ces précautions nous paraissent bien exagérées, l'industrie de l'acétylène n'étant pas plus dangereuse que beaucoup d'autres industries non réglementées spécialement.

Projet d'installation d'une usine centrale d'électricité aux prisons de Fresnes. — En exécution d'une délibération du Conseil général de la Seine, en date du 26 juin 1896, un concours est ouvert pour l'installation d'une usine centrale d'électricité pour l'éclairage et les transports de force nécessaires aux nouvelles prisons de Fresnes-les-Rungis.

MM. les Entrepreneurs-Constructeurs, qui désireraient prendre part à ce concours, sont invités à se faire inscrire au Service d'Architecture du Département de la Seine, à l'Hôtel de Ville, où on leur remettra le cahier des charges renfermant le programme de l'entreprise et les plans des nouvelles prisons.

Il ne sera plus reçu d'inscriptions après le 1[er] octobre 1896, à cinq heures du soir.

Les concurrents devront déposer leur projet complet au Service d'Architecture du Département, à l'Hôtel de Ville, au plus tard le 15 octobre pro-

chain avant cinq heures du soir. Les projets qui seraient remis à l'Administration, ce délai passé, ne seraient pas acceptés.

Aux pièces indiquées dans le cahier des charges particulières, MM. les Entrepreneurs-Constructeurs devront joindre une notice sur les travaux similaires qu'ils ont déjà exécutés et leur importance au point de vue de la dépense.

Les projets présentés au concours seront soumis à l'appréciation d'une Commission spéciale composée de conseillers généraux et de techniciens désignés par l'Administration.

Celui de ces projets qui, parmi ceux reconnus les meilleurs au point de vue de la valeur du système, sera le plus avantageux sous le rapport de la dépense, sera ultérieurement présenté à l'approbation du Conseil général de la Seine en même temps qu'une soumission pour l'exécution des travaux par voie de marché de gré à gré.

La traction électrique et la traction funiculaire. — Sur la ligne de Market Street, à San Francisco on substitue actuellement la traction électrique à la traction funiculaire. A ce propos, il n'est pas inutile de rappeler combien de Compagnies de lignes funiculaires ont agi de même et les raisons qui les y ont conduites. Le *Street Railway Journal* en donne la liste suivante. Une des premières fut celle de Grand Rapids (Michigan) (1892) ; puis vinrent les compagnies de Denver (Colorado), de Saint-Louis (Mo). La ligne de Piedmont à Oakland (Cal) qui ne donnait que des déficits avec le câble rapporte de beaux dividendes depuis qu'elle a adopté le trôlet ; à Philadelphie l'important réseau de lignes funiculaires a été remplacé par le trôlet ; il en a été de même à Los Angeles (bal), à Baltimore (ligne de Gilmor). Enfin, on se propose actuellement de suivre la même voie à Portland (Ore.) ; à San Diego (Cal) une ligne funiculaire ayant coûté 1 000 000 de fr n'a pu réaliser de bénéfices et, après banqueroute, elle a été vendue 85 000 fr; elle va être équipée électriquement. On affirme, de plus, qu'à Pittsburgh, il a été décidé d'abandonner la traction funiculaire dont la valeur est de 60 000 000 de fr et de la remplacer par la traction électrique qui ne coûterait que 20 000 000 fr à établir. Enfin, on parle d'équiper électriquement la ligne funiculaire de Broadway, à New-York.

Si les directeurs des Compagnies de tramways agissent ainsi, c'est évidemment qu'ils y trouvent leur intérêt. D'abord, la traction électrique plaît plus aux voyageurs que la traction funiculaire : sur une même ligne, les recettes augmentent sensiblement lorqu'on substitue la première à la seconde. Ensuite, il semblerait que la traction électrique permettrait maintenant de donner des prix aussi bas que la traction funiculaire, même sur des lignes à trafic très intense ; cela tient au prix très bas qu'ont atteint les appareils électriques, à leur rendement et à leur qualité supérieurs, permettant de diminuer à la fois les dépenses de première installation et les frais d'exploitation et d'entretien. Une autre raison très importante, c'est que la traction électrique s'applique à tous les genres de trafic, faible ou très intense, tandis que la traction funiculaire ne s'applique qu'à ce dernier. Or, il y a tout intérêt à n'employer qu'un seul mode de traction ; l'uniformité du matériel permet de réduire à la fois les frais d'installation, (bâtiments, matériel) la main-d'œuvre, les frais d'exploitation ; elle assure une plus grande élasticité du service et permet d'avoir des ouvriers plus habiles, tant pour la conduite des appareils que pour leurs réparations. Ses avantages sont donc considérables et la décision des directeurs de tramways funiculaires s'explique donc aisément.

Le gaz naturel et les tramways électriques. — Une compagnie de tramways électriques favorisée c'est celle d'Anderson, dans l'Etat d'Indiana (États-Unis). Toutes ses chaudières sont chauffées par le gaz naturel très répandu dans ces contrées, et ce combustible lui est fourni gratuitement.

ERRATUM

Page 306, 1re colonne, la première formule doit être rectifiée comme il suit :

$$P'' = a + b + c = -\left(\frac{d\left(\frac{M V^2}{2}\right)}{dt}\right)_{t=t_1}$$

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie Em. Mauchaussat, 32, Boul. Vaugirard.

Tome VIII Samedi 5 Septembre 1896 3e Année. — N° 36

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE (¹)

La soudure électrique, encore très peu répandue en France, voit, comme on le sait, ses applications s'étendre de plus en plus aux États-Unis et en Angleterre, principalement pour la soudure des tubes. M. *Samuel Mac Carthy* a récemment fait connaître à ce sujet, à la dernière réunion des Mechanical Engineers de Londres, quelques résultats intéressants, notamment en ce qui concerne la soudure des brides de tuyaux.

Pour souder une bride, on l'étampe de manière qu'elle réserve autour du tuyau une gorge en V (fig. 1) dans laquelle on dispose des languettes d'acier de $25 \times 20 \times 6$ mm que l'on fond graduellement par l'arc électrique, de manière à constituer un anneau de soudure d'environ 40 mm d'épaisseur radiale, comme de figure 3 à figure 4, on retourne ensuite le tube (fig. 5), puis on creuse, au moyen de l'arc, dans la bride, une seconde gorge analogue à la première, mais plus petite, dans laquelle on fond un second anneau de soudure.

On opère de même pour la soudure des raccords et branchements.

La longueur de l'arc a une grande importance ; trop court, il fait un mauvais travail par l'action directe du carbone trop rapproché et parce que la chaleur, trop concentrée sur un très petit espace, entraîne, au refroidissement, des contractions trop considérables. Plus l'arc est long, plus la chaleur est douce et bien répartie, et plus il est facile de faire disparaître par un recuit les tensions moléculaires développées par la soudure.

Les brides ainsi soudées sont très résistantes. Une soudure de bride sur un tube en fer de 6 mm d'épaisseur et de 200 mm de diamètre se rompit à l'essai, dans le corps du tube, sous une charge de 88 tonnes et, dans la soudure, sous 101 tonnes.

Les tuyaux soudés à l'électricité par le procédé Benardos, à l'usine des Coombs Wood Works, sont très employés en Angleterre principalement dans les usines des stations centrales d'électricité, en raison de leur grande sécurité et de la diminution dans le nombre des joints, amenée par l'emploi des brides et des raccords soudés. D'après un grand nombre d'essais exécutés sur des barres de fer et d'acier soudées par l'électricité, la résistance de cette soudure atteint facilement 85 pour 100 de celle du métal pour le fer et 80 pour 100 pour l'acier.

M. Burton est l'un des ingénieurs américains les plus compétents en matière de soudure électrique ; il l'a appliquée sous les formes les plus variées et au moyen d'appareils parfois fort ingénieux (¹). Les figures 7 à 10 représentent schématiquement les derniers dispositifs proposés par cet inventeur pour la

(¹) *L'Éclairage Électrique*, 6 juillet 1895, p. 12.

(¹) *La Lumière Électrique*, 7 mars et 24 octobre 1891, p. 457 et 153 ; 21 mai et 15 octobre 1892, p. 354 et 116, 18 février et 2 septembre 1893, p. 302 et 410.

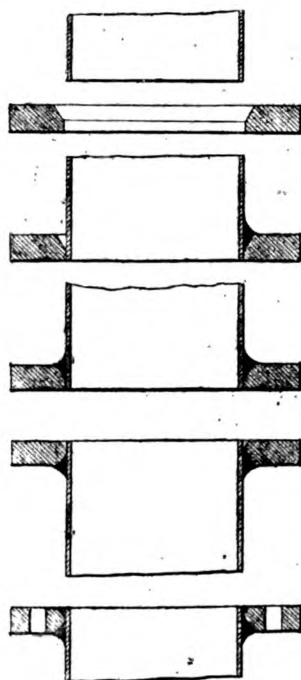
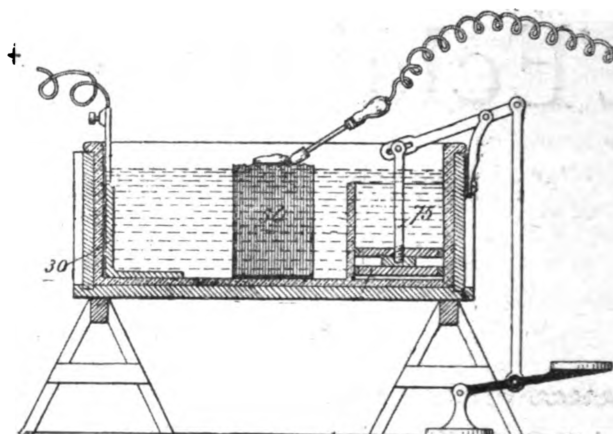


Fig. 1 à 6. — Soudure électrique d'une bride



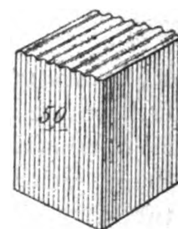


Fig. 7 et 8. — Forge électrolytique *Burton* (1895).

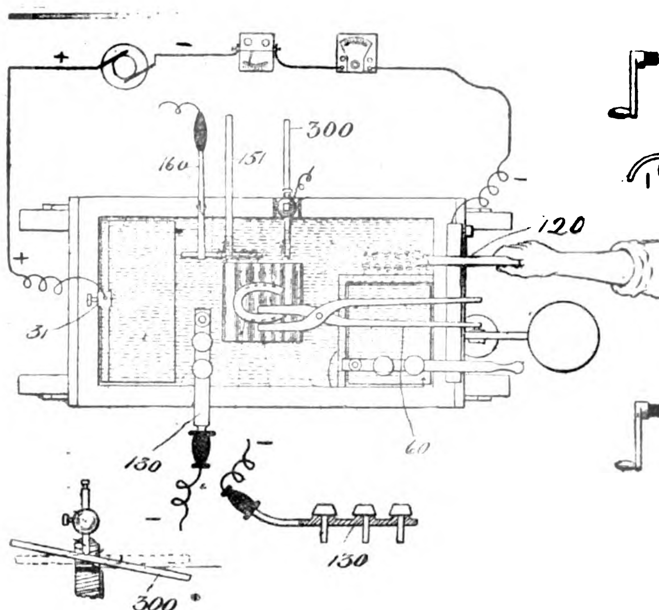
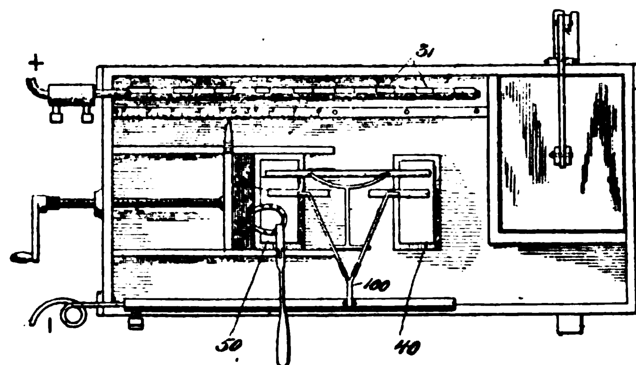
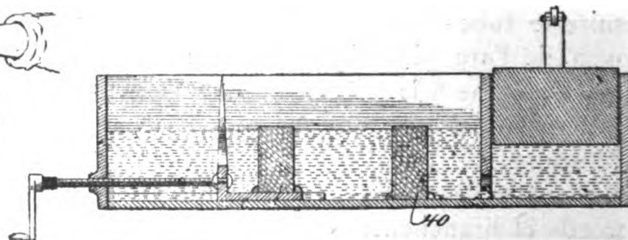
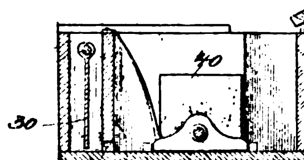


Fig. 9 et 10. — Forge électrolytique *Burton*







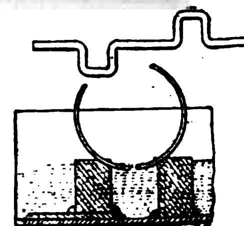


Fig. 11 à 14. — Forge électrolytique *Burton*.

soudure et la chauffe électrolytique. L'objet à travailler est posé sur un bloc isolant cannelé 50, dans une cuve remplie d'une dissolution de potasse, de densité 1,30 à 20°, en face d'une large anode de carbone 30, et relié par sa pince au pôle négatif du circuit. On commence par immerger, au moyen du piston 75, la pièce sous l'eau, on lance le courant, puis on abaisse le niveau de l'eau de manière qu'il affleure la pièce. Il jaillit alors, entre la pièce et le liquide, une sorte d'arc qui ne tarde pas à la porter au rouge.

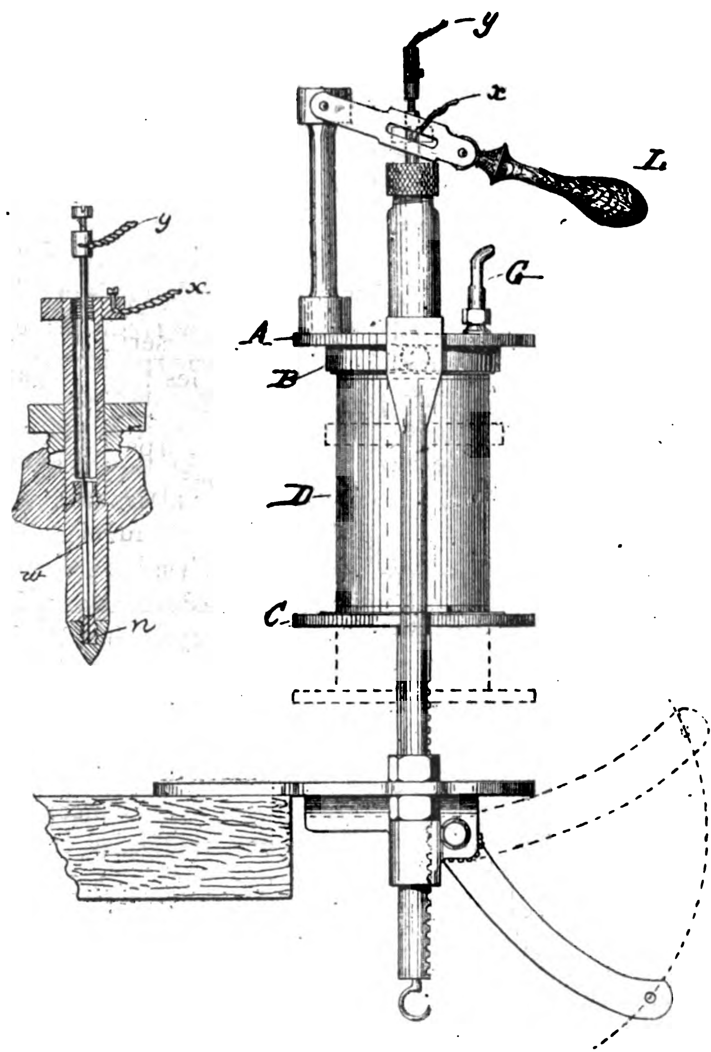


Fig. 15 et 16. — Appareil *Binswanger* pour souder les fonds de boîtes.

D'après M. Burton, ce chauffage très rapide et très énergique s'opérerait en partie par l'hydrogène incandescent (?) dégagé tout autour du métal en travail, dont il empêcherait en même temps l'oxydation. Le voltage varie de 150 à 500 volts et l'intensité se règle presque d'elle-même suivant le volume de la pièce. On peut traiter ainsi les objets les plus divers : une broche de rivets 130, une barre 300 saisie par une pince à contact automatique, ou à la main 120 ; on voit aussi comment l'on peut souder par rapprochement deux barreaux 150 et 151. Ces pièces doivent être immergées seulement de la quantité à chauffer, qui ne tarde pas à s'entourer d'une gaîne de gaz incandescent.

L'appareil représenté par les figures 11 à 14 fonctionne comme le précédent, mais l'anode en plomb 30-31, suspendue à une barre de cuivre, est séparée du bain par une cloison percée qui l'empêche de venir au contact du travail, et les enclumes isolantes sont au nombre de deux 40 et 50, dont l'une mobile 50, ce qui facilite beaucoup le travail des pièces posées sur elles et reliées à la cathode 100.

Les figures 15 et 16 représentent une ingénieuse application de la soudure électrique à la fermeture étanche des boîtes en fer blanc. Le couvercle de ces boîtes est percé au centre d'un petit trou : on pose près de ce trou un morceau de soudure, puis, au moyen du plateau C, on soulève la boîte D, que l'on appuie sur le plateau fixe A, à garniture élastique B, en rapport par G avec une pompe à vide. Après avoir ainsi fait le vide dans la boîte, on ferme par le levier L le circuit *x y* sur le fer à souder *w n*, qui fait fondre la soudure et ferme la boîte.

G. RICHARD.

DISSIPATION DE L'ÉNERGIE DANS L'AIMANTATION.

1. BASE EXPÉRIMENTALE DE LA LOI DE STEINMETZ. — La grandeur de l'énergie dissipée dans un cycle est mesurée par son aire et dépend par conséquent du tracé de la courbe toute entière. Elle ne semble pas, à première vue, devoir s'exprimer simplement en fonction des limites du cycle. Il est donc remarquable que Steinmetz (1) ait réussi à relier cette énergie dissipée à l'amplitude de la variation de l'aimantation dans le même cycle par une formule empirique d'une simplicité extrême ne contenant qu'un seul coefficient caractéristique de chaque matière :

Soient I_1 et I_2 les valeurs extrêmes de l'intensité d'aimantation atteintes dans un cycle, E l'énergie dissipée dans ce cycle, rapporté à 1 cm³ de matière,

η le coefficient caractéristique de la substance, on a :

$$E = \eta \left(\frac{I_1 - I_2}{2}\right)^{1,6}.$$

Cette formule s'applique, que I_1 et I_2 représentent des aimantations de même sens ou de sens contraire et la différence $I_1 - I_2$ doit être prise dans le sens algébrique. Quand le cycle est symétrique par rapport à l'origine on a $I_1 = -I_2$ et la formule devient :

$$E = \eta I^{1,6}.$$

Les expériences qui ont suggéré à Steinmetz cette relation sont deux séries de mesures d'Ewing sur les cycles du fer et de l'acier et des expériences faites par lui-même dans des conditions extrêmement variées, sur un grand nombre de corps, par deux méthodes différentes. La première, fondée sur l'emploi des courants alternatifs et du wattmètre, ne semble pas très précise, si l'on en juge par la forme assez irrégulière des courbes qui représentent les observations. La deuxième, dans laquelle les cycles ont été décrits au moyen du magnétomètre de M. Eikemeyer (1), donne des observations plus régulières mais les questions de distribution magnétique y jouent un rôle peu abordable à la discussion. C'est donc plutôt par leur concordance, malgré la variété des méthodes et des matières examinées, que par leur précision que les expériences de Steinmetz ont une valeur démonstrative.

On peut mettre cette concordance en évidence d'une manière plus frappante que par les tableaux numériques contenus dans le Mémoire de Steinmetz en remarquant que sous la forme logarithmique :

$$\log E = \log \eta + 1,6 \log I,$$

la loi est représentée par une ligne droite de coefficient angulaire égal à 1,6.

J'ai réuni dans les figures 1, 2, 3 les

(1) STEINMETZ, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 1 et 671. L'auteur se sert de la notation : $L = 4\pi I$.

(1) Décrit par Steinmetz. — *Electrotechnische Zeitschrift* 12, p. 381

courbes représentant sous la forme logarithmique les nombres donnés par Steinmetz. Les logarithmes vulgaires de I mesuré en unités C.G.S. sont portés en abscisses et ceux de E mesuré en ergs, en ordonnées.

Dans cette représentation graphique une même erreur relative est représentée par un

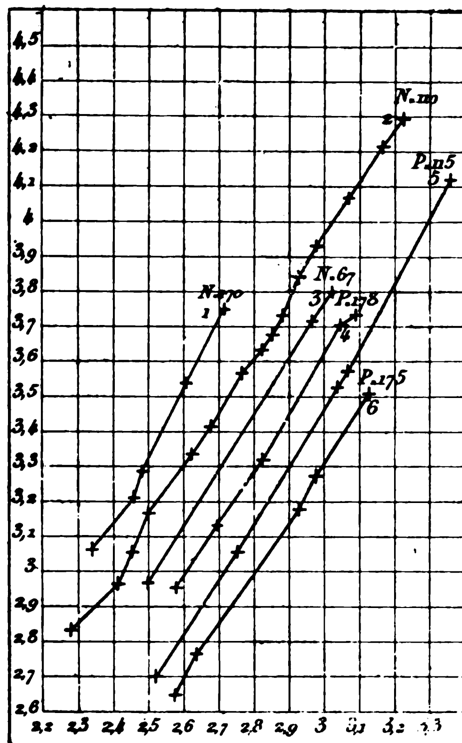


Fig. 1. — STEINMETZ. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 627, 1892. Expériences sur une tôle.

Energie dissipée dans l'aimantation par courants alternatifs :

1. 170 périodes par seconde.
2. 110 » »
3. 67 » »

Energie dissipée dans l'aimantation par courants à pulsations :

4. 170 périodes par seconde.
5. 115 » »
6. 175 » »

même écart absolu dans toute l'étendue du plan. A l'échelle employée un écart de 1 mm représente une erreur de 4,7 pour 100.

Les expériences de Steinmetz embrassent la plus grande partie de la courbe d'aimantation comme le montrent les valeurs extrêmes des abscisses des différentes courbes.

Dans la figure 1 on a ajouté aux abscisses de chaque nouvelle courbe 0,1 pour l'empêcher de se superposer avec la précédente. Cette précaution n'a pas été nécessaire dans la suite, à cause de la grande diversité de propriétés des substances étudiées. Les courbes 1, 2, 3 de la figure 2 représentent l'énergie dissipée dans le fer par des aimantations alternatives de 170, 110, 67 périodes par seconde. Les courbes 4, 5, 6, particulièrement intéressantes, se rapportent à des cycles dissymétriques obtenus dans un champ magnétique à pulsations produit par la superposition d'un champ constant et d'un champ alternatif. Dans la plupart de ces derniers cycles les aimantations extrêmes sont de même signe.

Ces expériences sont faites par la première méthode de Steinmetz; celles qui vont suivre, plus nombreuses, ont été faites par la deuxième, sauf quand le contraire sera dit expressément.

La figure 2 représente l'énergie dissipée dans une fonte grise et dans un même acier pris dans des conditions de trempe et d'histoire magnétique antérieure aussi différentes que possible.

Dans la figure 3 sont réunis les résultats relatifs à des matériaux assez variés. La courbe 1 représente une série très étendue sur un acier fondu trempé ; la courbe 2 l'énergie dissipée dans un fil d'acier recuit dont les données ont été empruntées par Steinmetz à Ewing. Les courbes 3, 4 et 5 sont relatives à l'énergie dissipée dans de la limaille de fer, tassée dans une enveloppe ; les deux premières représentent des expériences par les courants alternatifs de 180 et 114 périodes par seconde. La courbe 6 se rapporte à un échantillon très pur de magnétite compacte.

J'ajoute aux données de Steinmetz les expériences probablement beaucoup plus précises d'Ewing et Miss Helen G. Klaassen ([1]). Ces expériences embrassent l'étude de 7 varié-

([1]) J. A. EWING and Miss HELEN G. KLAASSEN. *The Electrician*, 6 avril, 1894, p. 636. *La Lumière Électrique*, t. LII, p. 136, 185, 333, 364, 445.

tés différentes de fer dans toute l'étendue de la courbe d'aimantation comprise entre I = 160 et I = 1200 CGS. Elles sont représentées dans la figure 4.

Fig. 2.

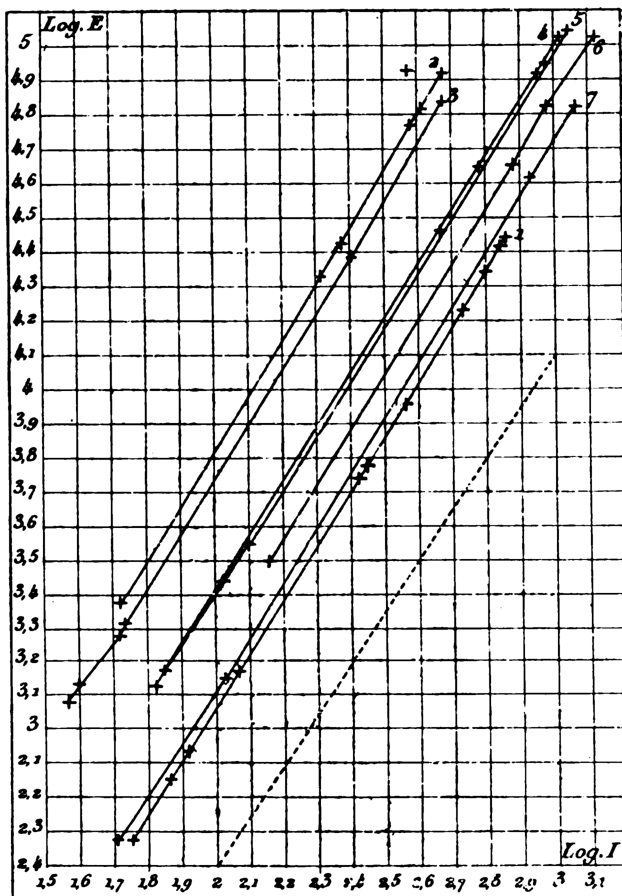


Fig. 3

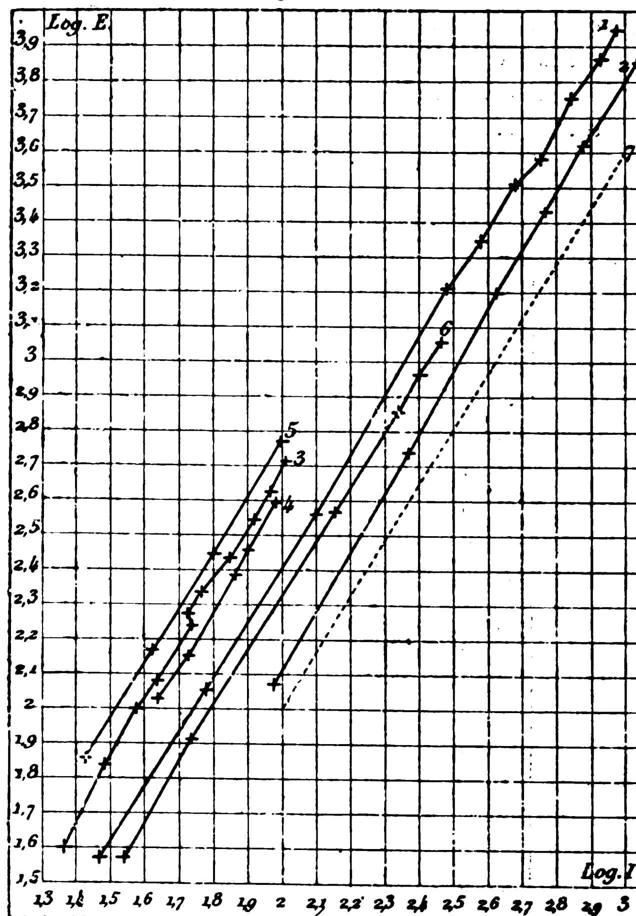


Fig. 2. — STEINMETZ. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 637 et 648.

1. Fonte grise ordinaire
2. Acier (Tool Steel) trempé sec.
3. » » » après désaimantation par courants alternatifs.
4. » » trempé à l'huile.
5. » » » » après désaimantation par courants alternatifs.
6. » » recuit.
7. » » » après désaimantation par courants alternatifs.
8. Droite $y = 1,6\,x$.

Fig. 3. — STEINMETZ. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 656 et suivantes

1. Acier fondu.
2. Fil d'acier recuit [Ewing].
3. Limaille de fer. 180 périodes par seconde.
4. » » 114 » »
5. » » Méthode magnétométrique.
6. Magnétite compacte.
7. Droite $y = 1,6\,x$.

Il est impossible de ne pas remarquer le caractère général de concordance de tous ces résultats expérimentaux avec la formule de Steinmetz.

2. CRITIQUES D'EWING ET MISS HELEN G. KLAASSEN

Ewing et Miss Helen G. Klaassen (¹) pour soumettre cette formule à une vérification plus complète ont prolongé la courbe n° 3 de la

(¹) *Loc. cit.*

figure 4 jusqu'à $I = 12$ CGS et ont trouvé, en se servant de la même représentation logarithmique, que le coefficient angulaire de la courbe partait de 2 environ pour les valeurs très faibles de I pour décroître jusqu'à 1,47 et croître de nouveau jusqu'à 1,7.

La courbe se diviserait ainsi en trois parties, qui seraient les analogues des 3 parties de la courbe lieu des sommets des cycles, caractérisées par des changements bien marqués du coefficient angulaire.

L'existence d'une divergence entre la formule de Steinmetz et l'expérience dans les champs très faibles est en effet tout à fait mise hors de doute par les expériences d'Ewing et

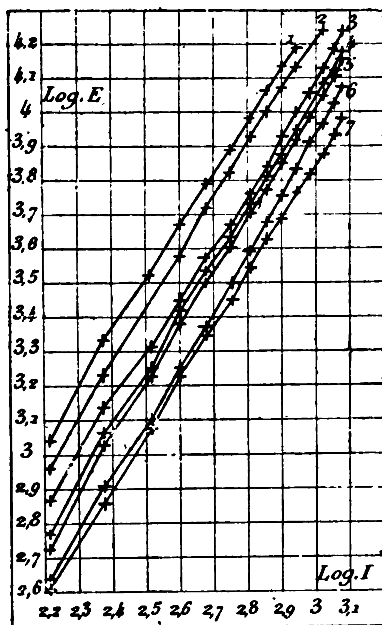


Fig. 4. — J. A. Ewing F. R. S. et Miss Helen G. Klaassen. *The Electrician*, 13 avril 1894, p. 671.

de Miss Helen G. Klaassen et celles d'autres auteurs. Elle n'a pas d'ailleurs la valeur qu'ils lui ont assignée, ainsi qu'il sera montré plus loin.

Mais si l'on considère l'ensemble des courbes de la figure 4 dans leur partie correspondant aux valeurs élevées de I, on ne saurait leur découvrir une différence d'allure systématique avec la partie moyenne. On doit donc considérer la deuxième variation du coefficient angulaire de la courbe 3 comme accidentelle et n'infirmant pas la loi de Steinmetz.

3. La formule de Steinmetz dans les mélanges et les corps discontinus

Je me suis proposé dans ce qui suit, d'examiner d'abord, *à priori*, l'influence possible de l'hétérogénéité et de la discontinuité de la matière sur la loi de la dissipation de l'énergie dans les cycles.

Ensuite, j'étudierai le cas des très petits cycles au point de vue expérimental, et je chercherai jusqu'à quel point les mesures sur les alliages de fer et d'antimoine et sur la magnétite cristallisée s'accordent avec la loi de Steinmetz.

Admettons que dans une substance homogène et parfaitement continue l'énergie dissipée soit reliée à l'intensité d'aimantation par la loi de Steinmetz, et soient deux semblables substances mélangées dans le rapport en volume $\alpha_1 : \alpha_2$ avec $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ et constituant un corps hétérogène. On aura pour chacune de ces substances prises isolément

$$E_1 = \eta_1 I_1^{1,6}$$
$$E_2 = \eta_2 I_2^{1,6}.$$

Pour le mélange les énergies dissipées et les intensités d'aimantation des composantes s'ajoutent et l'on a :

$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 \quad \text{et} \quad I = \alpha_1 I_1 + \alpha_2 I_2,$$

et si la loi de Steinmetz continue à être vérifiée :

$$\alpha_1 \eta_1 I_1^{1,6} + \alpha_2 \eta_2 I_2^{1,6} = \eta (\alpha_1 I_1 + \alpha_2 I_2)^{1,6},$$

équation qui ne dépend que de $\frac{I_1}{I_2}$ et qui exige, par conséquent, que I_1 et I_2 varient proportionnellement.

Si la matière, au lieu de se présenter sous forme continue est interrompue par places, le champ magnétisant, au lieu d'être égal au champ supposé H, sera $H - NI$, N étant un certain facteur démagnétisant. Si N est une fonction de I seulement et indépendant du champ, conformément à une hypothèse assez naturelle, la construction de lord Rayleigh que nous avons rappelée antérieurement, montre que l'aire du cycle d'aimantation n'est

pas altérée par l'existence du champ démagnétisant. Si alors le facteur N a la même valeur dans toute l'étendue du corps la loi deSteinmetz sera conservée.

Si au contraire la valeur de N est différente d'un point à l'autre du corps, celui-ci se comporte comme un mélange de substances pour lesquelles la valeur du coefficient η serait la même mais qui suivraient des lois d'aimantation différentes. Dans le cas d'un mélange de deux éléments on aurait : $\eta_1 = \eta_2$ et :

$$\eta_1 [\alpha_1 I_1^{1,6} + \alpha_2 I_2^{1,6}] = \eta (\alpha_1 I_1 + \alpha_2 I_2)^{1,6},$$

équation qui exige encore la proportionnalité de I_1 et I_2.

Dans le cas où le corps serait composé d'un grand nombre de parties soumises à des régimes démagnétisants différents, il serait de même nécessaire que l'aimantation fût proportionnelle dans toutes ces parties. On conçoit qu'il en soit approximativement ainsi dans bien des cas ; mais on imagine facilement des cas très différents, par exemple celui où une partie de la matière est aimantée à saturation, d'où I_1 = constante, et l'autre seule soumise à une aimantation variable.

Or il est certain que plusieurs variétés de fer sont des mélanges de fer et de carbures de fer et que la plupart des matières sur lesquelles nous pouvons expérimenter ne sont pas continues, ainsi que le montrent les figures de corrosion obtenues en attaquant par un acide la surface des métaux polis. Il semble donc que l'on doive plutôt s'étonner de ce qu'une loi telle que celle de Steinmetz ait pu être mise en évidence, que de la voir en défaut dans quelques cas particuliers et dans certaines régions de la courbe.

4. ÉNERGIE DISSIPÉE DANS LES TRÈS PETITS CYCLES

a. Expériences de lord Rayleigh. — Les lois de l'aimantation dans les champs très faibles ont été étudiées par Lord Rayleigh [1] sur un fil de fer écroui. Il s'est servi de la méthode magnétométrique, appliquée sous une forme susceptible d'une extrême sensibilité. Les résultats sont les suivants : L'aimantation est sensiblement proportionnelle au champ pour des valeurs du champ inférieures à 0,04 C.G.S. De 0,04 à 1,2 C.G.S. le lieu des sommets des cycles est représenté par la formule parabolique

$$I = a H + b H^2$$

où les constantes ont les valeurs $a = 6,4$; $b = 5,1$.

Dans le même intervalle les courbes cycliques sont extrêmement aplaties si on les représente de la manière habituelle. Si, au contraire on les transforme en conservant les abscisses et en retranchant de toutes les ordonnées la quantité a H, on obtient des courbes semblables à celles de la figure 5, qui sont formées approximativement de deux paraboles à axe vertical dont chacune a son sommet à l'un des sommets du cycle. Cette transformation revient à faire glisser les éléments de l'aire découpés par des parallèles à l'axe des ordonnées d'une quantité égale à — a H parallèlement à cet axe. L'aire de la courbe n'est donc pas altérée.

Soit H l'abscisse d'un sommet, son ordonnée sera $I_1 = I - a H = b H^2$ et on aura pour l'aire, dans l'hypothèse d'un cycle limité par des courbes paraboliques :

$$E = \frac{4}{3} I_1 H = \frac{4}{3} b H^3.$$

L'énergie dissipée dans les très petits cycles est donc proportionnelle à la troisième puissance du champ, et à un degré de petitesse suffisant, proportionnelle à la troisième puissance de l'aimantation, puisqu'à la limite H est proportionnel à I. On a alors :

$$E = \frac{4}{3} \frac{b}{a^3} I^3.$$

b. Nouvelles expériences. — La méthode employée par Lord Rayleigh ne donne pas des résultats d'une grande exactitude numérique, ainsi que le fait remarquer l'auteur lui-même à plusieurs reprises. Il se peut donc que, tout en donnant des renseignements très instructifs sur la marche générale de l'aiman-

(1) Lord RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, Mars 1887.

tation, elle ne donne pas des valeurs très exactes pour un phénomène qui, comme l'énergie dissipée, dépend seulement de l'excès de l'aimantation observée sur la partie proportionnelle au champ.

C'est ce qui m'a amené à faire des mesures

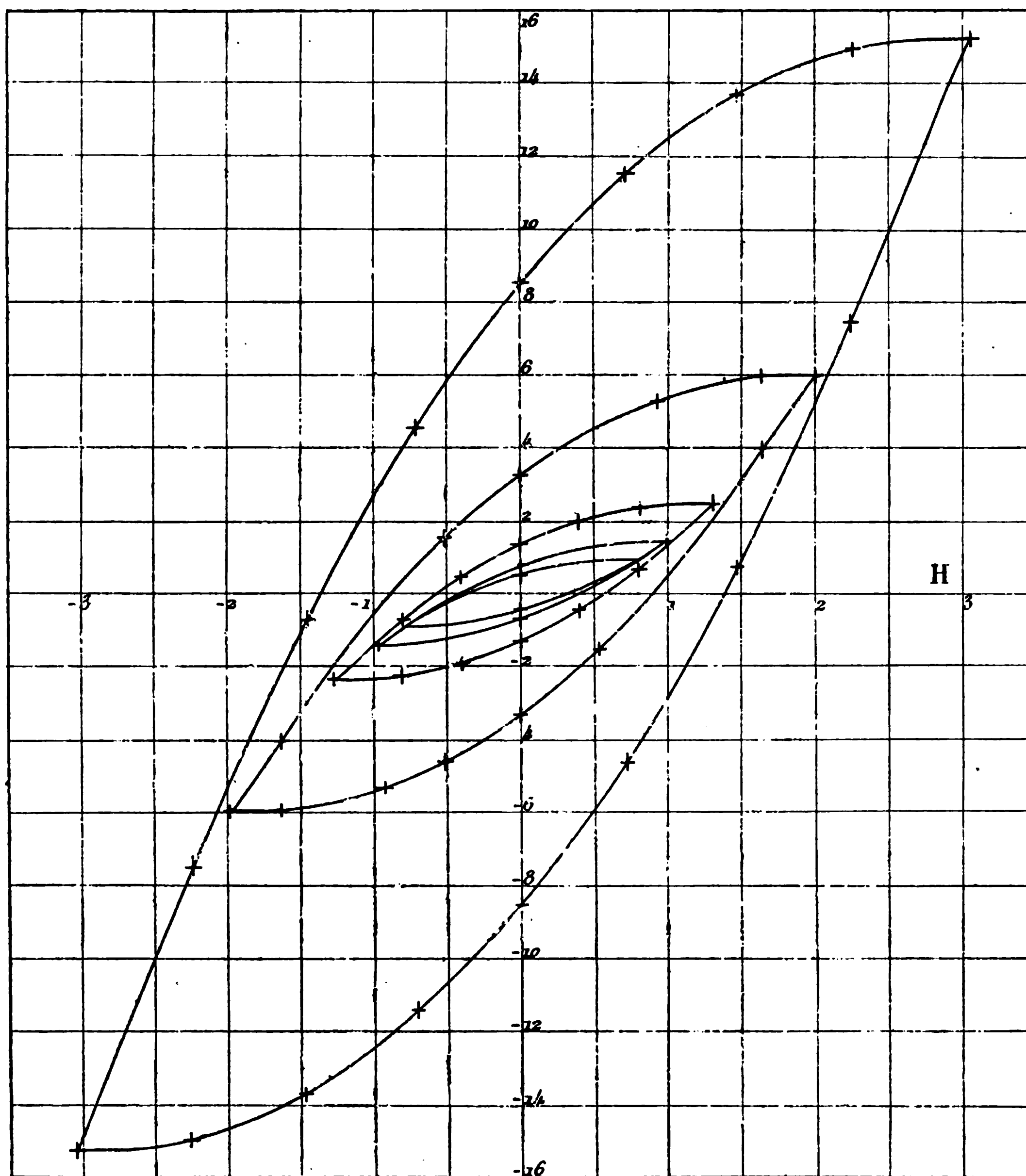


Fig. 5. — Aimantation d'un fil de fer écroui dans des champs très faibles.
Ordonnées : I -- *a* H.
Abscisses : H.

analogues en m'astreignant à déterminer avec précision cet excès et à rendre en particulier l'influence perturbatrice du champ démagnétisant très faible non seulement par rapport à l'aimantation totale, mais même par rapport à la partie de l'aimantation non proportionnelle au champ.

Je me suis encore servi de la méthode balistique. Un fil de fer de Suède écroui, de 0,87 mm de diamètre et de 45 cm de longueur

est placé dans un solénoïde de 6 cm de diamètre et de 50 cm de longueur ayant 9,26 tours par centimètre. Au milieu du fil de fer et sur une longueur de 7 cm sont enroulés 5 000 tours de fil de 0,08 mm formant une bobine de 5 mm de diamètre. Les expériences, malgré le grand nombre de tours, ont exigé toute la sensibilité du galvanomètre.

Pour mesurer l'excès de l'aimantation sur la partie proportionnelle au champ, j'ai compensé l'induction provenant de cette dernière, en même temps que l'induction de la bobine productrice du champ sur la bobine induite, par une induction mutuelle réglable.

Ce réglage se fait en annulant le mouvement de l'équipage galvanométrique quand on commute le courant produisant un champ de 0,06 unités C.G.S. synchroniquement avec ses oscillations. Cette méthode de répétition, déjà employée à plusieurs reprises dans les réglages, permettait une compensation très rigoureuse.

L'effet de cette induction mutuelle de compensation est donc d'annuler l'effet de l'aimantation dans les champs très faibles où le le terme aH existe seul, et par conséquent de retrancher expérimentalement ce terme de l'aimantation totale dans les champs plus forts. Ce procédé opératoire est calqué sur les expériences analogues de Lord Rayleigh, faites par la méthode magnétométrique.

Pour compléter la mesure de l'aimantation, il fallait encore déterminer le terme aH. Je l'ai fait en mesurant l'aimantation totale, par une expérience distincte dans laquelle la bobine induite était formée des 855 tours les plus voisins du fil de fer, faisant partie de la bobine de 5 000 tours.

D'après M. H. du Bois ([1]), le facteur démagnétisant d'un cylindre dont le rapport des dimensions est $\frac{450}{0,87}$ est

$$N = 0,00018,$$

et par conséquent le champ démagnétisant provenant de la plus grande aimantation observée, égale à 44,1 C. G. S. est :

$$NI = 0,00018 \times 44,1 = 0,008,$$

pour un champ maximum égal à 3. On peut donc affirmer que le champ démagnétisant n'altère pas sensiblement même le phénomène obtenu en retranchant la partie de l'aimantation proportionnelle au champ.

La figure 5 représente les cinq cycles mesurés sur ce fil de fer, pour lesquels le champ maximum est compris entre 0,797 et 3,05 C. G. S.

Leur forme générale concorde bien avec celle qui a été donnée par Lord Rayleigh. Le tableau suivant contient les données relatives aux sommets et à l'énergie E dissipée.

Champ H	Aimantation totale I	$\frac{I - 9,46\,H}{H^2}$	E	$\frac{E}{H^3}$
0,797	8,45	1,44	1,03	2,04
0,993	10,81	1,44	1,99	2,03
1,297	14,70	1,45	4,55	2,08
2,015	25,75	1,50	17,4	2,13
3,05	44,1	1,64	68,3	2,41

La troisième colonne montre que l'aimantation totale est donnée par une formule parabolique

$$I = 9,46\,H + 1,44\,H^2,$$

pour des champs inférieurs à 1,3 CGS.

Pour cet échantillon de fer, la partie de l'aimantation proportionnelle au carré du champ a une importance bien moindre que pour celui de Lord Rayleigh. Ceci explique comment la compensation de la partie proportionnelle à la première puissance du champ a pu se faire correctement dans un champ de 0,06 C.G.S. alors que Lord Rayleigh assigne comme limite supérieure de la région de la proportionalité 0,04 C.G.S. La concordance des trois premiers nombres de la troisième colonne est une vérification de cette opération.

La cinquième colonne établit la proportionalité de l'énergie dissipée au cube du champ dans le voisinage de l'origine.

Si l'on calcule, comme nous le faisions plus

([1]) H. du Bois, *Wied. Ann.* t. XLVI, p. 497, 1892.

haut, l'aire en supposant les courbes des cycles paraboliques, on a :

$$E = \frac{4}{3} a H^3 = \frac{4}{3} \times 1,44 H^3 = 1,92 H^3,$$

nombre plus faible environ de $\frac{1}{20}$ que celui qui se déduit de la mesure des trois plus petits cycles, les courbes sont donc en réalité un peu plus convexes que des paraboles.

Reprenons maintenant la représentation de log E en fonction de log I. On trouve que le coffiecient angulaire est égal à 2,7 pour les

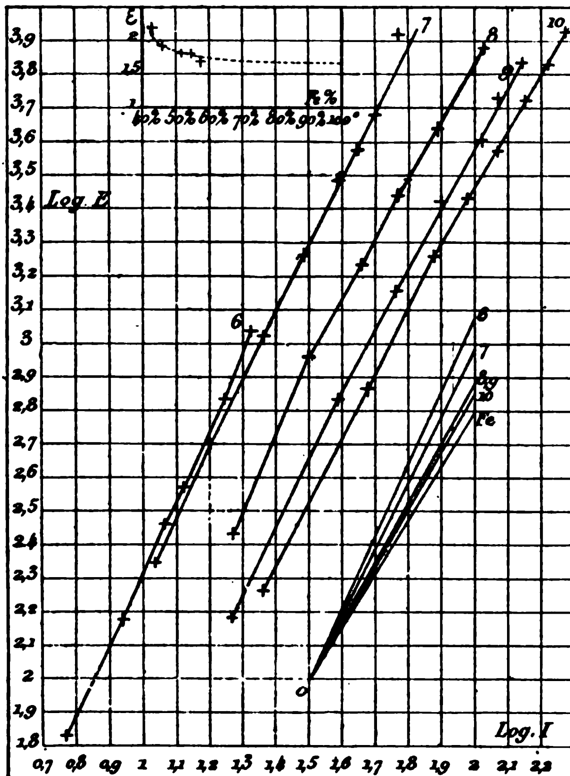


Fig. 6. — Énergie dissipée dans l'aimantation des alliages de fer et d'antimoine.
Fig. 7. — Exposant de la formule empirique en fonction de la composition centésimale.

champs voisins de 0,8 C.G.S. et descend jusqu'à 2,46, quand on arrive au champ de 3 C.G.S.

Je conclus donc que dans les cycles très faibles, où la formule de Steinmetz ne s'applique pas, l'énergie dissipée croît comme une puissance de l'intensité d'aimantation qui part de 3, et qu'elle est dans une région assez étendue à partir de l'origine, proportionnelle au cube du champ.

On peut rapprocher l'écart de la loi exponentielle pour les petits cycles de ce fait que leurs sommets ne se trouvent pas sensiblement sur la courbe d'équilibre. Ils ne sont par conséquent pas comparables aux cycles plus grands.

5. Energie dissipée dans les alliages de fer et d'antimoine

J'ai donné dans les tableaux relatifs aux alliages de fer et d'antimoine (p. 311 et 312) l'énergie dissipée, dans les cycles des cinq alliages les plus magnétiques. La représentation logarithmique de ces nombres a été faite dans la figure 6.

Les courbes ainsi obtenues sont toutes *très exactement* rectilignes dans une région étendue correspondant aux grands cycles. Mais le coefficient angulaire de ces portions de courbes assimilables à des droites, qui est égal à 2,17 pour l'alliage n° 6, diminue progressivement jusqu'à 1,70 pour l'alliage le plus riche en fer comme cela a été mis en évidence au moyen de parallèles (fig. 6) menées par le point o aux portions rectilignes des courbes. On a ajouté la droite du coefficient angulaire 1,6 correspondant au fer pur. Le même fait est visible dans la figure 7 (même planche) qui représente le coefficient angulaire en fonction de la composition centésimale.

L'énergie dissipée dans les cycles un peu grands est donc représentée par les formules :

N° de l'alliage	
6	$E = 1,39 I^{2,17}$
7	$E = 2,10 I^{1,99}$
8	$E = 1,95 I^{1,78}$
9	$E = 1,06 I^{1,78}$
10	$E = 1,15 I^{1,70}$.

Les colonnes intitulées $E_{obs.}-E_{calc}$, page 312, indiquent l'excès de l'énergie observée sur la valeur calculée au moyen de ces formules, exprimée en pour 100 de la valeur observée. Ces écarts sont toujours très petits pour les cycles un peu grands ; une seule valeur, celle du cycle le plus grand de l'alliage 7, s'écarte notablement de la valeur calculée.

Dans les petits cycles nous retrouvons, plus ou moins accentuée, la différence avec la loi exponentielle que nous avons notée pour le fer. La dissipation d'énergie est d'abord faible et s'accroît plus vite que pour les cycles de plus grande amplitude. Il est probable qu'ici encore on retrouverait un accroissement de l'aire des cycles proportionnel à la troisième puissance du champ et à la limite, à la troisième puissance de l'intensité d'aimantation. Les expériences peu nombreuses sur les petits cycles n'ayant pas été dirigées spécialement en vue de résoudre cette question, la laissent sans réponse.

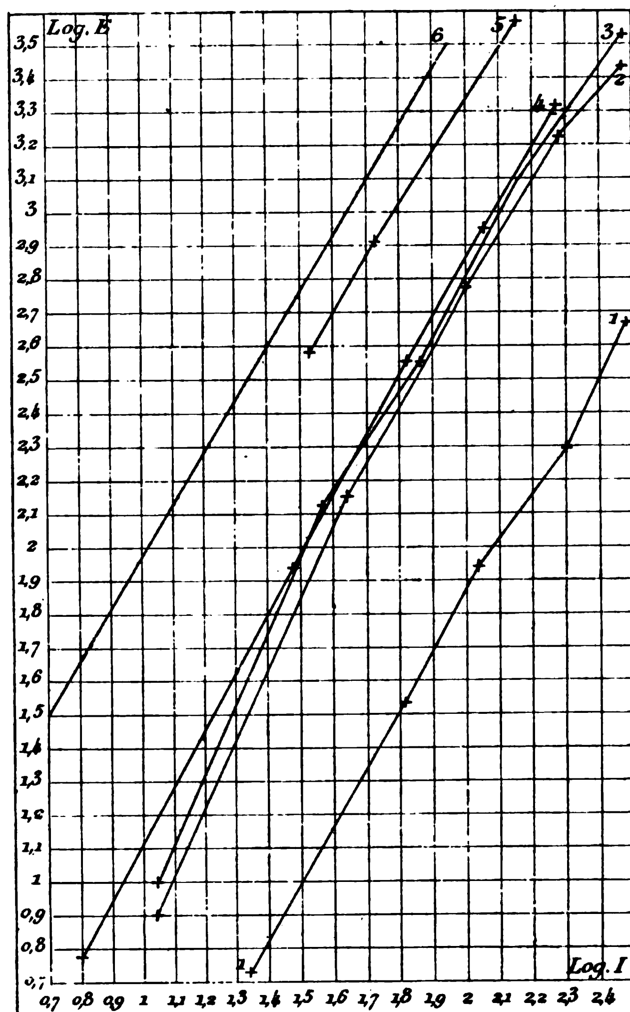


Fig. 8. — Energie dissipée dans l'aimantation de la magnétite cristallisée.
1. Magnétite de Traverselle, direction de l'axe binaire.
2. » du Tyrol » » »
3 » » » » ternaire.
4. » » » » quaternaire.
5. » » compacte [Steinmetz].
6. Droite $y = 1,6\,x$.

On voit donc, en résumé, que pour ces alliages la formule exponentielle représente bien l'énergie dissipée dans les mêmes conditions que pour le fer, à la condition de remplacer l'exposant fixe égal à 1,6 par un exposant approprié à chaque alliage.

Après ce qui a été dit plus haut sur la complexité du phénomène dans un mélange de

substance dont chacune suivrait la loi exponentielle, ce résultat ne semble pas être facile à interpréter.

6. Énergie dissipée dans la magnétite cristallisée.

Les aires des cycles de quatre échantillons de magnétite ont été donnés dans un article antérieur. La figure 8 est la représentation logarithmique de ces aires.

Excluons de la discussion la courbe 1 qui se rapporte aux cycles excessivement étroits de la magnétite de Traverselle, représentés dans la figure 10 (page 507 du volume précédent) en 1 et 2, et qui par suite de la petitesse des aires mesurées est moins bien connue que les autres.

Il reste alors les courbes 2, 3, 4 (fig. 8) relatives à la magnétite du Tyrol, qui se suivent à peu près parallèlement pour les cycles un peu grands et sont nettement convexes du côté de l'axe des abscisses. La loi exponentielle n'est donc pas applicable à cet échantillon de magnétite.

La magnétite compacte étudiée par Steinmetz suit au contraire rigoureusement la loi de la puissance 1,6 comme le montre la courbe 5 de la même figure à côté de laquelle on a tracé en 6 une droite de coefficient angulaire 1,6, On est conduit à se demander, par conséquent, si la structure cristalline n'interviendrait pas ici, comme ailleurs, pour modifier les propriétés magnétiques de la matière.

Mais les expériences dont on dispose sur la magnétite cristallisée et surtout sur les variétés très différentes les unes des autres de magnétite compacte sont encore trop peu nombreuses pour permettre de répondre à cette question. Pierre Weiss.

SUR LE CALCUL DES RÉSEAUX DE TRAMWAYS

1. Quoique les tramways électriques soient aujourd'hui une des plus importantes applications de la transmission de l'énergie à distance sous forme de courant, il n'est pas encore paru, que je sache, une méthode pour le calcul des conducteurs d'une ligne ou d'un réseau.

Le choix de ces conducteurs a toujours été fait presque empiriquement ; puisqu'on ne saurait jamais appeler un calcul complet la vérification que la chute de potentiel ne dépasse pas une certaine limite.

Un conducteur d'énergie électrique, quel que soit son emploi, doit être calculé aux trois points de vue suivants :

1° Le courant ne doit pas échauffer excessivement le conducteur ;

2° La chute de potentiel ne doit pas dépasser une certaine fraction de la tension de distribution ; cette fraction étant établie d'après le mode de fonctionnement et la sensibilité des appareils récepteurs ;

3° La somme des dépenses occasionnées par la transmission de l'énergie à travers la canalisation, ainsi que pour l'amortissement de la ligne, doit être minima. On calcule les sections qui satisfont successivement aux trois conditions et on adopte la section maxima.

Dans le cas de la traction par câbles nus aériens ou souterrains, lorsque la 2e et la 3e conditions sont satisfaites, il en est de même de la 1re.

On remarquera qu'il est d'autant plus important d'envisager la question au point de vue économique que la durée annuelle du fonctionnement d'une installation est plus grande. Or, dans les projets d'éclairage, on se préoccupe bien de rechercher les sections économiques des conducteurs et cependant la durée du fonctionnement d'une installation d'éclairage n'est guère que 1/3 ou 1/4 de celle d'une installation de tramways. On ne s'explique donc pas pourquoi les conducteurs des installations de tramways ne sont pas calculés au même titre que les autres, et qu'on ait fait de si nombreuses installations en employant presque n'importe quels conducteurs. Il en est résulté qu'après plusieurs années d'exploitation on s'est aperçu que les conducteurs

absorbaient trop d'énergie par effet Joule et on a cherché à y parer en ajoutant de nouveaux fils de trôlet ou autrement, ce qui constitue toujours un arrangement peu satisfaisant et une complication dans le réseau.

La raison qui me paraît la plus vraisemblable pour expliquer le mode incomplet, employé jusqu'aujourd'hui pour calculer les lignes de tramways, est que les formules, telles que celles de Kelvin, qui donnent la section la plus économique des conducteurs ne paraissent pas applicables *a priori* dans le cas où les récepteurs absorbent un courant variable et sont, en outre, mobiles.

Avant de poursuivre, je crois utile de faire quelques observations sur l'applicabilité de la loi de Kelvin. Le professeur Ayrton, en 1886, avait fait remarquer que cette loi n'est pas générale, mais ses observations ne reçurent que peu d'attention ; c'est pourquoi le professeur W. Anthony a repris récemment la question [1].

M. Anthony cite plusieurs cas dans lesquels la loi de Kelvin, appliquée dans sa forme ordinaire, donne des résultats absurbes, et cela parce que les conditions posées pour établir la formule définitive ne sont pas toujours réalisées. La conclusion des recherches de M. Anthony est que la loi en question n'est applicable *que lorsque l'intensité du courant ne constitue pas une inconnue du problème*, c'est à dire qu'elle est indépendante de la résistance de la ligne et que, partant, dans la formule, *elle est une constante*.

M. Edward Burch [2], s'appuyant sur les conclusions de M. Anthony, affirme que la loi de Kelvin, dans les cas des tramways électriques, conduit à des résultats absolument erronés, parce que l'intensité du courant, loin d'être constante, varie, au contraire, constamment dans de très grandes limites. Il est évident que M. Burch a mal interprété les conclusions de M. Anthony ; sans cela, on ne pourrait appliquer la formule de Kelvin, pas même à un feeder d'une distribution d'éclairage.

Dans le cas qui nous occupe, le courant, quoique variable, est bien déterminé, si l'on admet que la chute de potentiel est nulle ou négligeable vis-à-vis de la tension de distribution. Le courant nécessaire à chaque voiture est alors fonction du poids de cette dernière, de sa vitesse, du profil et du tracé de la voie ; la résistance de la ligne n'a rien à y voir et, partant, la loi de Kelvin est applicable.

Rappelons que la formule de Kelvin s'établit comme suit. Soient :

i l'intensité du courant à transmettre,

l la longueur de la canalisation,

ρ la résistibilité du métal employé,

s la section du conducteur,

p le prix de revient du joule supplémentaire,

a le taux d'intérêt et d'amortissement par franc,

t le temps, en secondes, pendant lequel le courant i passe annuellement.

La dépense annuelle en énergie est

$$i^2 \rho \frac{l}{s} t p,$$

l'amortissement de la canalisation apporte une dépense

$$[m + ns]\, l a,$$

m et n étant deux constantes qui doivent être calculées spécialement pour chaque type de canalisation.

Le coût annuel de la transmission sera

$$C = (m + ns)\, l a + i^2 \rho \frac{l}{s} t p. \qquad (1)$$

Dans cette expression, les seules variables sont C et s et, partant, en cherchant le minimum de C on obtient la formule de Kelvin sous la forme ordinaire qui donne la valeur de la section ou de la densité de courant la plus économique.

On remarquera qu'en établissant la formule (1), on a admis implicitement que i et l sont constants, c'est à dire que les récepteurs sont fixes et qu'ils absorbent un courant in-

[1] *Electricial Engineer*, 31 octobre 1894. *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 318 ; 16 février 1895.

[2] *Electric Railway Gazette*, 27 juillet 1895. *L'Éclairage Électrique*, t. V, p. 117; 19 octobre 1895.

variable. Toutefois, une simple remarque nous permettra d'appliquer la même formule aux lignes de tramways.

Que i et l soient constants ou variables $i^2 \rho \frac{l}{s} t$ représente toujours la perte annuelle en énergie par effet Joule dans les conducteurs. On peut poser d'une manière générale

$$i^2 \rho \frac{l}{s} t = \frac{A}{s}.$$

La formule (1) devient

$$C = (m + n s) l a + \frac{A p}{s},$$

dans laquelle les seules variables sont C et s. En cherchant le minimum de C par rapport à s, on a

$$s = \sqrt{\frac{A p}{n l a}} \ldots\ldots, \qquad (2)$$

qui peut servir au calcul de la section des conducteurs toutes les fois qu'il est possible, par une méthode quelconque, de calculer en fonction de la section inconnue, les pertes par effet Joule qu'on a dans les conducteurs mêmes, pendant une année.

2. Il est à remarquer que le calcul des conducteurs fait seulement au point de vue de la perte de tension, donne, dans le cas de la traction électrique, des sections généralement trop faibles. On peut montrer cela en appliquant la formule (2) à un cas très simple.

Considérons une ligne de tramways à simple fil de trôlet sans distributeurs ni feeders; la station génératrice est en A (fig. 1). Supposons que d'après le profil de la voie, le poids des voitures et la vitesse normale de marche, on ait déterminé le diagramme des courants absorbés par une voiture qui va de A à B, puis par une voiture qui fait le parcours en sens inverse. Les départs ont lieu aux deux extrémités de la ligne en même temps et à intervalles déterminés; les voitures sont au nombre de deux.

Pour ce qui regarde les pertes par effet Joule, on peut, *approximativement*, substituer aux voitures deux prises de courant d'intensité respectivement égales à

$$I_1 = \sqrt{\frac{\Sigma i_1^2 t}{\Sigma t}} \qquad I_2 = \sqrt{\frac{\Sigma i_2^2 t}{\Sigma t}},$$

les quantités i et t étant, en général, les côtés des rectangles dans lesquels on peut décomposer les diagrammes des courants.

Cette hypothèse est toujours suffisamment approchée si on considère le mouvement simultané des voitures.

Considérons la première partie d'une

Fig. 1.

course qui comprend le déplacement des voitures des extrémités de la ligne au croisement du milieu; la position des voitures au temps t après le commencement de la course est celle indiquée dans la figure.

L'énergie élémentaire perdue par effet Joule dans un déplacement correspondant à un temps dt à partir de l'instant t est

$$\frac{\rho}{s}[I_1 + I_2]^2 vt\,dt + \frac{\rho}{s} I_2^2 [L - 2vt]\,dt,$$

v étant la vitesse de marche qu'on suppose constante. En intégrant entre les limites 0 et $\frac{T}{2}$, T étant la durée d'une course (non compris les arrêts) de A à B, on obtient

$$\int_0^{\frac{T}{2}} \frac{\rho}{s}[I_1 + I_2]^2 vt\,dt + \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{\rho}{s} I_2^2 [L - 2vt]\,dt$$
$$= \frac{\rho}{s}(I_1 + I_2)^2 \frac{LT}{8} + \frac{\rho}{s} I_2^2 \frac{LT}{4}.$$

D'une manière analogue, on obtient l'énergie perdue dans la seconde moitié de la course

$$\frac{\rho}{s}[I_1 + I_2]^2 \frac{LT}{8} + \frac{\rho}{s} I_1^2 \frac{LT}{4}.$$

En additionnant les deux expressions et en divisant la somme par T, on obtient *la puis-*

sance moyenne perdue par effet Joule pendant une course,

$$P_{moy} = \frac{\rho}{s}\frac{L}{4}\left[(I_1+I_2)^2+I_1^2+I_2^2\right].$$

La valeur à substituer à A dans la formule (2) est

$$A = \frac{\rho L}{4}\left[(I_1+I_2)^2+I_1^2+I_2^2\right] t.$$

J'ai appliqué le procédé ci-dessus à une ligne de tramways ayant une longueur de L = 1 700 m desservie par deux voitures pesant 6 300 kg (y compris les voyageurs), marchant à la vitesse de 13 km par heure.

Le rendement d'une voiture a été fixé à 60 pour 100.

La racine carrée du carré moyen du courant, pour une voiture qui va de A à B, a été trouvée de 18 ampères et, pour une voiture qui va de B à A, de 27 ampères.

Il est a remarquer que le retour par la terre fonctionne, dans notre cas, exactement comme le fil de trôlet et, par conséquent, absorbe une certaine quantité d'énergie par effet Joule et par les actions électrolytiques ; cette énergie pourrait être calculée par le même procédé en établissant une résistance kilométrique moyenne.

Toutefois, cette perte est indépendante de la section des conducteurs métalliques ; c'est pourquoi elle n'a pas d'influence sur la détermination de la section la plus économique de ces derniers.

L'expression (2), dans le cas particulier qui nous occupe, devient

$$s = \sqrt{\frac{p\,t\,\rho}{4\,n\,a}\left[(I_1+I_2)^2+I_1^2+I_2^2\right]},$$

dans laquelle t est le temps pendant lequel le courant passe dans le fil de trôlet qui, d'après l'horaire établi pour les voitures, est de 2 820 heures par an, c'est à dire $2\,820 \times 3\,600 = 10^7$ secondes environ.

On peut admettre les valeurs suivantes :

$$n = 0{,}02\,;\ a = 0{,}1\,;\ \rho = \frac{1}{60}\,;\ p = \frac{0{,}0002}{3\,600},$$

et on a alors

$$s = \sqrt{\frac{0{,}0002 \times 10^7}{0{,}1 \times 4 \times 0{,}02 \times 3\,600 \times 60}\left[(18+27)^2+18^2+27^2\right]}$$
$$= 35{,}6\ \text{mm}^2.$$

A cette section correspond un diamètre $d = 6{,}7$ mm.

Vérifions maintenant si la chute de potentiel maxima est dans les limites voulues, c'est à dire 10 pour 100 de la tension de distribution (500 volts).

D'après les diagrammes des courants et la position réciproque des voitures à chaque instant, on détermine la position correspondant à la chute de potentiel maxima qui serait de 24 volts environ. *On en conclut que si on avait fait le calcul se basant seulement sur la chute de potentiel maxima, on aurait trouvé une section moitié moindre.*

En pratique, on ne descend pas en dessous de 6 mm pour le diamètre des fils de trôlet, de sorte que, cette fois, un praticien aurait choisi exactement le conducteur le plus économique, mais il n'en est pas toujours ainsi.

J'ai fait cet exemple numérique très simple pour démontrer l'importance de l'application de la condition du maximum d'économie et pour convaincre que le calcul basé sur la seule chute de potentiel peut conduire à des sections qui s'éloignent assez de la section la plus économique.

Mais on remarquera que la méthode analytique pour le calcul des pertes, que je viens d'appliquer, entraînerait à des complications considérables et serait pratiquement inapplicable si le nombre de voitures sur la ligne était seulement de quatre ou cinq. En outre, elle n'est qu'approchée, puisque la substitution d'un courant constant au courant variable absorbé par une voiture n'est pas tout à fait exacte. C'est pourquoi j'exposerai une méthode plus simple et aussi exacte que l'on veut, laquelle s'applique avec la même facilité à tout réseau même compliqué.

3.— Soit une ligne de tramways de n'importe quelle longueur, desservie par un nombre quelconque de voitures. Le réseau est composé du fil de trôlet, des distributeurs reliés à ce dernier et de feeders alimentant les distributeurs.

Je suppose que, d'après le profil de la voie,

le poids et la vitesse des voitures, on ait calculé et dessiné les diagrammes des courants absorbés par une voiture qui parcourt la ligne dans les deux sens. L'horaire des courses étant établi à l'avance, il est toujours possible de déterminer, à un instant t, quelle est la position réciproque des voitures, ainsi que les courants absorbés par chacune d'elles. Si on se donne, par exemple, le rapport entre la section des conducteurs (fil de trôlet et distributeurs), il est possible à chaque instant de déterminer la distribution des courants dans le réseau, ainsi que la valeur de l'expression $\Sigma i^2 l$ pour chaque conducteur ayant une section uniforme.

Après un certain temps Δt, les voitures auront changé de position et on pourra calculer une autre valeur, de $\Sigma i^2 l$; après un autre temps $\Delta_1 t$, on aura une troisième valeur et ainsi de suite.

Toutes ces valeurs peuvent être enregistrées dans des diagrammes ayant pour abcisses les t et pour ordonnées les valeurs de $\Sigma i^2 l$ ainsi calculées; on aura un diagramme pour chaque conducteur. Il est à remarquer que les mêmes positions des voitures se répètent à intervalles égaux, de sorte que si on trouve la surface de ces diagrammes comprise entre deux ordonnées distantes d'un temps égal à la période, on a la valeur de

$$\int \Sigma i^2 l \Delta t,$$

pendant cette période pour le conducteur considéré. Si N est le nombre de périodes pendant une année, on pourra calculer la valeur de

$$A_1 = \rho N \int \Sigma i^2 l \Delta t,$$

pour le fil de trôlet, par exemple, ainsi que les expressions analogues A_2 et A_3 pour les distributeurs et pour les feeders.

Tous ces conducteurs peuvent alors être calculés à l'aide de la formule (2).

La distribution des courants dans le réseau dont il est question plus haut peut, en général, se déterminer, connaissant le rapport des sections du fil de trôlet et des distributeurs seulement : l'intensité du courant qui parcourt un feeder étant, en général, la somme algébrique de ceux qui parcourent les autres conducteurs.

Il est à remarquer que si on considère comme exactes les hypothèses qu'on fait pour calculer le diagramme des courants pour chaque voiture et si on admet que l'horaire qu'on a établi se vérifie rigoureusement, la méthode que je viens d'exposer permet de calculer en fonction des sections les pertes par effet Joule avec l'approximation qu'on veut : il suffit de choisir les valeurs de Δt suffisamment petites. Comme cependant les dites hypothèses ne sont qu'approchées, il y a une juste limite à garder.

Ajoutons encore que même si la voie a une pente constante et si une voiture conserve une vitesse moyenne constante, le courant absorbé par son moteur est bien loin d'être constant ; il varie, au contraire, entre des limites très étendues ; l'inertie de la voiture joue, dans ce phénomène, un rôle très important. Le courant dans le réseau varie donc pour ces raisons, ainsi que pour les suivantes :

1° Par le déplacement des voitures sur la ligne c'est à dire par le changement des conditions de fonctionnement de leurs moteurs;

2° Parce que la charge des voitures, c'est à dire le nombre de voyageurs, est variable pendant une course et d'une course à la suivante.

La méthode que je viens d'exposer tient compte des premières causes de variations, mais elle néglige complètement les autres, de sorte qu'elle donne, en général, des *sections trop faibles*.

On sait, en effet, que, à égalité d'énergie transmise à travers un conducteur, la perte par effet Joule est plus grande si le courant est variable que s'il est constant ; il en est de même de la section économique du conducteur qui varie suivant la racine carrée de ces pertes.

Cependant, il est à remarquer que les variations de courant indépendantes du profil de la voie et de la vitesse des voitures sont

en général, assez faibles dans le fil de trôlet, dès que le nombre de voitures reliées à celui-ci devient considérable. En tout cas, la valeur relative de ces variations décroît successivement dans les distributeurs et les feeders.

La variation du nombre de voyageurs n'a pas non plus grande influence, parce que le poids total de la vitesse ne subit pas des variations considérables de ce chef.

Je crois donc que, sauf dans des cas exceptionnels, toutes ces variations peuvent être négligées, et on peut admettre que les sections calculées d'après la méthode précédente sont à peu près exactes.

Dans le but de rendre plus clair le principe de la méthode, je vais en montrer l'application à deux cas particuliers, qui sont pour ainsi dire les extrêmes :

1° Ligne à simple voie avec croisement ;

2° Ligne à simple ou double voie avec distributeurs et feeders.

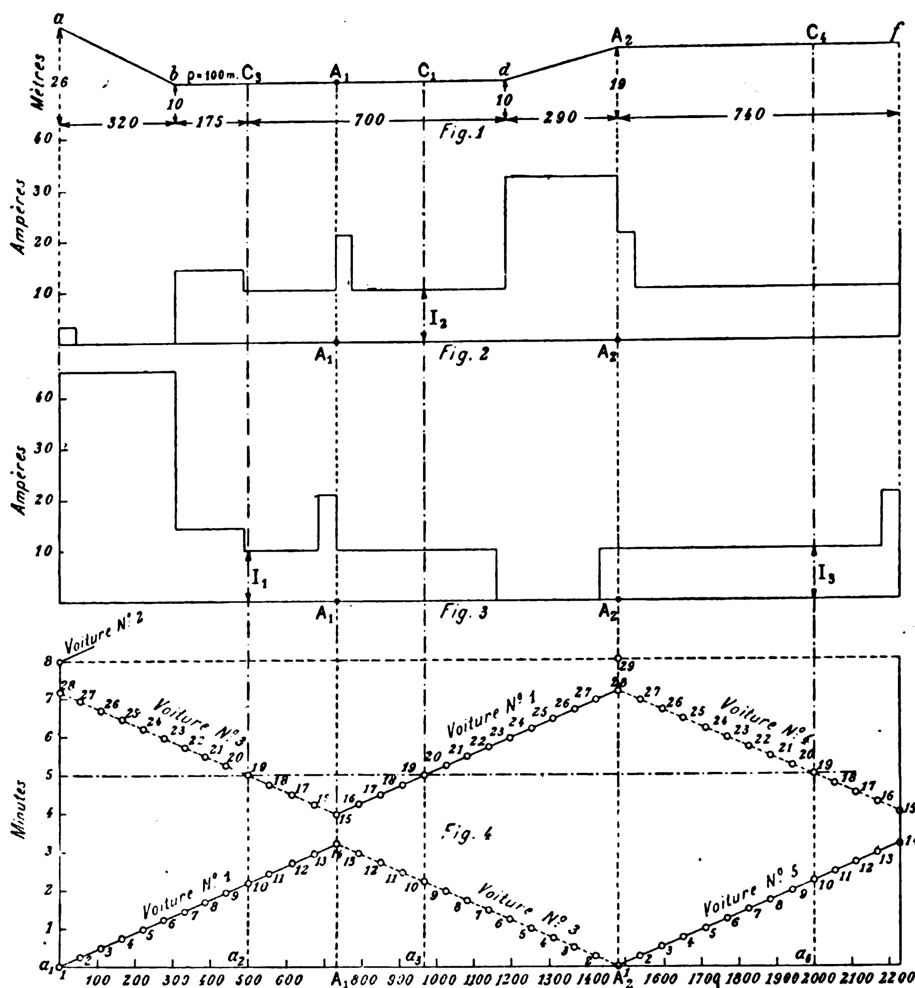


Planche I.

4. *Ligne à simple voie sans distributeurs ni feeders.* — La figure 1 de la planche I représente le profil de la ligne ; les figures 2 et 3 représentent respectivement les diagrammes des courants absorbés par une voiture qui va de *a* à *f* et de *f* à *a*. Remarquons que, pour

calculer la puissance des machines à l'usine génératrice, on suppose que les voitures sont au complet ; pour le calcul des pertes, il est logique de compter sur un nombre réduit de voyageurs. Les voitures qui circulent sur la ligne que nous considérons sont au nombre de cinq, chacune d'elles pèse 4 000 kg et sert pour 32 voyageurs, plus un conducteur et un agent ; la vitesse normale de marche est de 13 km par heure et on l'a supposée constante quel que soit le profil de la voie ; il est facile de voir que la méthode est également applicable si on établit des vitesses variables. D'après la considération ci-dessus, on a calculé les diagrammes (fig, 1 et 2) en supposant que la charge des voitures est de 26 personnes, y compris le personnel de service ; de sorte que le poids moyen des voitures est de 5 570 kg ; on a pris pour le coefficient de traction 15 kg par tonne.

Pour pouvoir déterminer à chaque instant la position des voitures sur la ligne, on peut adopter la méthode suivante :

Il est évident que le mouvement d'une voiture, qui est uniforme, peut être représenté par une droite rapportée à deux axes, les abscisses pour les longueurs, par exemple, et les ordonnées pour les temps ; la tangente de l'angle que cette droite fait avec l'axe des ordonnées représente alors la vitesse du mouvement. Dans la figure 4 de la planche I, on a représenté de cette manière le mouvement des cinq voitures sur la ligne. Il résulte du dessin qu'à l'origine des temps la voiture n° 1 démarre d'un des bouts de la ligne, tandis que les voitures n°s 3 et 5 démarrent dans le croisement A_2 ; les voitures n°s 2 et 4 sont aux extrémités de la ligne. La figure représente le mouvement des voitures sur la ligne pendant une *période* qui est de huit minutes ; les diagrammes marqués en pointillé se rapportent aux voitures qui vont de l'extrémité *J* à l'extrémité *a* de la ligne (fig. 1), ceux marqués en plein se rapportent aux voitures qui font le parcours en sens inverse.

La station génératrice est placée à 100 mètres de l'extrémité *a*. Lorsqu'on a préparé les dessins comme dans la planche I, on peut commencer le calcul qui se fait assez simplement.

Considérons la position des voitures cinq minutes après l'origine des temps ; ces positions sont données par l'intersection de l'horizontale tirée de 5 avec les diagrammes des mouvements ; on déduit d'emblée que la voiture n° 3 est en C_3 et elle absorbe un courant I_1 ; la voiture n° 1 est en C_1 et absorbe un courant I_2, et la voiture n° 4 est en C_4 et absorbe un courant I_3. Le trait $a_1\, a_2$ (fig. 4) est parcouru par le courant $I_2 + I_3$ et, enfin, le trait $a_3\, a_4$ par le courant I_3. — Cette distribu-

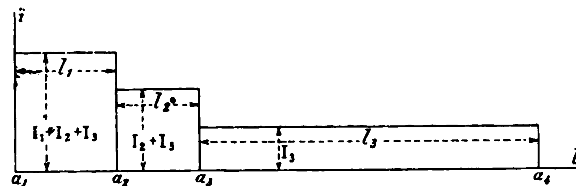


Fig. 2.

tion peut être représentée par un diagramme comme dans la figure 2.

Position n°	$\Sigma\, i^2\, l$.	Position n°	$\Sigma\, i^2\, l$.	Position n°	$\Sigma\, i^2\, l$.
1	$1,516.10^6$	11	$0,875.10^6$	21	$0,965.10^6$
2	$0,164.10^6$	12	$0,918.10^6$	22	$0,930.10^6$
3	$0\ 168.10^6$	13	$0,940.10^6$	23	$4,500.10^6$
4	$0,174.10^6$	14	—	24	$4,330.10^6$
5	$0,180.10^6$	15	$3,780.10^6$	25	$4,030.10^6$
6	$0,186.10^6$	16	$0,940.10^6$	26	$3,800.10^6$
7	$0,930.10^6$	17	$0,917.10^6$	27	$3,56\ .10^6$
8	$0,965.10^6$	18	$0,875.10^6$	28	—
9	$1,015.10^6$	19	$0,885.10^6$	29	—
10	$0,885.10^6$	20	$1,015.10^6$		

A l'instant considéré la valeur de $\Sigma\, i^2\, l$ est égale au double du moment d'inertie du diagramme par rapport à l'axe des l ; la valeur de ce moment peut être déterminée par la méthode de la statique graphique ou par le calcul direct. Dans le cas particulier qui nous occupe, il est plus rapide et plus exact de faire le calcul direct à *l'aide de la règle à cal-*

cul. La valeur de $\Sigma i^2 l$ étant calculée pour la position 19, on la calcule pour la position 20 et semblablement pour toutes les positions considérées. Nous avons considéré 29 positions correspondant en général à des intervalles de 1/4 de minute ; sauf pour les arrêts aux croisements qui durent 3/4 de minute. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant ; ils peuvent être contrôlés très facilement à l'aide des dessins de la planche I.

Ces résultats sont représentés par le diagramme de la planche II, dans laquelle on a pour abscisses les valeurs de Δt et pour ordonnées les $\Sigma i^2 l$; la surface de ce diagramme donne la valeur de

$$\int \Sigma i^2 l \Delta t,$$

pendant une période ; si on connaissait la section constante s du conducteur,

$$\frac{\rho}{s} \int \Sigma i^2 l \Delta t,$$

représenterait les pertes en joules pendant une période. L'intégration du diagramme peut se faire par la méthode graphique ou par le calcul ; ce second moyen est dans notre cas plus rapide. Le diagramme se compose de deux figures fermées distinctes dont les surfaces sont de :

$1,215,10^8$ ampères²-mètres-secondes ;

$4,295,10^8$ ampères²-mètres-secondes ;

de sorte que, dans une période, on a :

$5,51,10^8$ ampères²-mètres-secondes.

Pendant une année, le service journalier étant de 14 heures, on a :

$$\frac{14 \times 60}{8} \times 365 \times 5,51,10^8 = 2,12,10^{14} \text{ amp.}^2\text{-}$$

mètres-secondes.

et enfin la valeur de Λ à substituer dans la formule (2) est

$$\rho = \frac{1}{60} \text{ pour le Cu}$$

$$\frac{2,12}{60} 10^{14} = 3,53 . 10^{14}.$$

En prenant pour n, a et p les mêmes valeurs que dans le n° 2 et pour $l = 2320$ m, on a

$$\sqrt{\frac{3,53 . 10^{14} \times 0,0002}{3\,600 \times 0,10 \times 2\,320 \times 0,07 \times 0,1}} = 65 \; mm^2,$$

ce qui donne 265 kg de cuivre par voiture.

On pourrait obtenir cette section par le seul fil de trôlet ou faire usage d'un conducteur auxiliaire relié au fil de trôlet à chaque poteau, de manière à pouvoir considérer l'ensemble des deux conducteurs comme un conducteur unique ; il faudrait alors par exemple : Un fil de trôlet de section de 34,2 mm² et diamètre de 6,6 mm. Un conducteur auxiliaire de section de 31,17 mm² et diamètre de 6,3 mm.

Pour déterminer la chute de potentiel maxima, il faut procéder par tâtonnement ; un coup d'œil jeté sur la planche I suffit pour

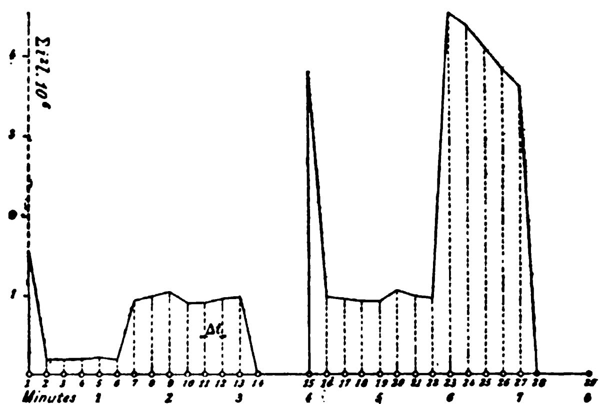


Planche II

établir que cette chute maxima aura lieu ou dans la position 15 ou dans la position 23. La même planche fournit aisément les éléments pour le calcul qui donne une chute de potentiel maxima de 21 volts correspondant à la position 15.

Si le calcul avait été fait au point de vue de la chute de potentiel seulement, on se serait contenté d'un fil ayant une section de 31 mm² et un diamètre de 6,3 mm qui est absolument insuffisant, puisqu'il est moindre que la moitié de celui qui satisfait aux bonnes conditions d'économie.

Il est très intéressant de connaître le rendement moyen de la transmission ; ce rendement peut être déduit très facilement des calculs ci-dessus et des dessins de la planche I.

La perte d'énergie sur la ligne par effet Joule est égale à

$$\int \frac{\rho \Sigma i^2 l}{s} = \frac{5{,}51 . 10^8}{65 \times 60} = 1{,}41 . 10^5 \text{ joules,}$$

pendant 8 minutes, ce qui correspond à une puissance moyenne perdue de

$$\frac{1{,}41 . 10^5}{8 \times 60} = 295 \text{ watts.}$$

La figure 4 de la planche I montre que l'énergie totale dépensée pendant 8 minutes est égale à celle nécessaire pour une voiture dans une course aller et retour ; cette énergie est donnée par la somme des surfaces des diagrammes 2 et 3 moyennant un changement d'échelle des abscisses qui deviennent alors des temps. L'intégration des diagrammes donne

$$6{,}32 . 10^6 \text{ joules,}$$

ce qui correspond à une puissance de

$$\frac{6{,}32 . 10^6}{480} = 13\,150 \text{ watts.}$$

La perte relative est

$$\frac{295}{13150 + 295} = 2{,}5\ \%,$$

de sorte que le rendement est de 95,5 pour 100 ; il est donc très élevé.

5. Considérons maintenant un cas en apparence plus compliqué, qui peut être traité aussi facilement que le précédent. Soit un réseau comme celui de la figure 3.

Comme dans le cas précédent, je suppose avoir calculé le diagramme des courants absorbés par une voiture ou par un train (s'il s'agit de chemin de fer électrique), en tenant compte de leur charge moyenne et des conditions spéciales du service, qui peuvent varier d'un réseau à l'autre. Pour des raisons d'ordre technique et pour faciliter le calcul, je suppose que le fil de trolley ne soit pas continu, de sorte que le réseau reste partagé en plusieurs régions telles que A., B,... chacune étant desservie par des feeders de longueur L_1, L_2, L_3.

Il est à remarquer que la longueur du fil de trôlet constituant un tronçon n'est pas arbitraire et, par conséquent, ne l'est pas non plus le nombre de feeders. En général, pour une ligne assez longue, comme celle que je considère, on établit à l'usine génératrice des machine hypercompound pour maintenir constant, autant que possible, le voltage aux points de raccord des feeders *a b*... ; il en résulte que si toutes les dynamos sont groupées en dérivation, les feeders doivent produire la même chute de potentiel moyenne.

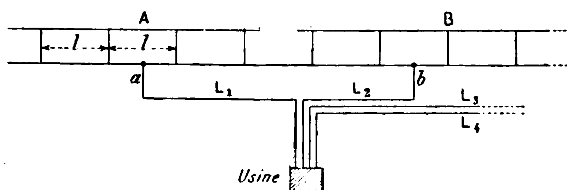


Fig. 3.

D'après la formule de Kelvin, employée dans la forme (2), la section économique de deux feeders est donnée par

$$s_1 = \sqrt{\frac{\rho \Sigma i_1^2 \Delta t}{n a} p}.$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{\rho \Sigma i_2^2 \Delta p.}{n a}}$$

Les chutes de potentiel dans les deux feeders seront égales lorsque

$$I'_m \frac{L_1}{\sqrt{\Sigma i_1^2}} = I''_m \frac{L_2}{\sqrt{\Sigma i_2^2}} \dots \quad (a)$$

dans laquelle I'_m I''_m sont les courants moyens qui parcourent les feeders, c'est à dire

$$I'_m = \frac{\Sigma i_1 t}{\Sigma t} \qquad I''_m = \frac{\Sigma i_2 t}{\Sigma t}.$$

Les dénominateurs de l'expression (*a*) sont proportionnels aux racines carrées des carrés moyens des intensités que nous appelons C_1 et C_2. De sorte qu'on a

$$L_1 \frac{I'_m}{C_1} = L_2 \frac{I''_m}{C_2}.$$

Si cette condition est satisfaite, tous les feeders auront la section la plus économique et donneront en même temps la même chute de potentiel moyenne ; on évite ainsi les rhéostats de réglage des feeders qui absorbent quelquefois des fractions notables de l'énergie totale.

Pour réaliser *approximativement* la condition (b) on fera en sorte que le courant qui parcourt les feeders les plus longs soit plus variable que celui qui parcourt les feeders les plus courts, et, pour cela, il suffira en général que les régions A, B,... soient d'autant plus longues qu'elles sont plus rapprochées de l'usine. Il en résultera que les longs feeders seront plus nombreux que les courts et auront en général une section moindre. On sait, du reste, que le fractionnement des feeders n'augmente pas la dépense en cuivre.

D'après les considérations ci-dessus et d'autres s'il est nécessaire, je suppose que le réseau soit géométriquement déterminé. Quel que soit le nombre de voitures en service et leur vitesse dans les diverses parties de la voie, on peut toujours représenter leur mouvement à l'aide d'un diagramme analogue à celui de la figure 4 (planche I), lequel permet aussi la détermination de la durée de la période. Cela étant on connaît à chaque instant la position des voitures et le courant demandé par chacune d'elles ; il s'agit maintenant de déterminer la distribution des courants dans tout le réseau à chaque instant. Dans le cas que nous considérons, il est évident que cette distribution peut être déterminée d'une manière rigoureuse, si on connait le rapport k entre la section du distributeur et celle du fil de trôlet, toutes les deux étant constantes, et si on admet que le voltage aux points de raccord des feeders est le même, et, en outre, est constant.

Il est à remarquer que cette hypothèse n'est qu'approchée, mais tout le calcul que nous faisons n'a pas la prétention d'être très précis ; d'autre part, dans les installations de tramways, il n'y a rien qui soit constant eu égard à la transmission de l'énergie, de sorte que toute hypothèse approchée est admissible. Ainsi on peut en faire d'autres pour déterminer facilement la distribution des courants à chaque instant, c'est le critérium de l'auteur d'un projet qui détermine cas par cas quelles sont les hypothèses acceptables et quelles sont celles à rejeter.

Cela étant, je suppose que la distribution est déterminée on peut alors calculer par l'instant considéré, comme on l'a fait dans le cas de la simple ligne, la valeur de $\Sigma\, i^2 l$ pour le fil de trôlet, pour le distributeur et pour chaque feeder ; la même chose peut se faire pour un temps Δt après, et ainsi de suite pour toute la durée d'une période. On aura un diagramme analogue à celui de la planche II pour chaque condensateur, et on pourra les calculer tous comme on vient de faire dans l'exemple précédent. Si pour le fil de trôlet on trouve une section trop petite ou trop grande, on doit répéter le calcul en changeant convenablement la valeur de k ; ce calcul, du reste, sera assez simplifié par celui fait précédemment.

On remarquera encore qu'on peut aussi adopter des sections variables pour le même conducteur ; ainsi, par exemple, on peut admettre que le distributeur soit formé par la jonction de fil de diamètre différent, cela par des considérations d'ordre différent ; la méthode s'applique également et avec la même facilité.

On pourra observer que cette méthode est assez laborieuse ; mais il est facile de se convaincre que le calcul d'un réseau tel que celui considéré en vaut la peine. Du reste, lorsqu'il sera appliqué à plusieurs installations, on aura des critériums pour la résolution des cas intermédiaires par interpolation.

Je souhaite que cette étude, si elle ne résout pas complètement la question, atteigne au moins le but d'attirer l'attention des électriciens sur la question de l'économie des réseaux de tramways qui, à tort, a été jusqu'à présent trop négligée.

CESIDIO DEL PROPOSTO.

GALVANOMÈTRES

GALVANOMÈTRES A AIMANT MOBILE.

Dans tous les appareils rangés sous le nom de galvanomètres, l'action du courant sur un aimant donne la mesure de l'intensité du

premier. On peut diviser ces instruments en deux classes distinctes : ceux dans lesquels l'aimant est mobile et ceux dans lesquels l'aimant est fixe et le circuit mobile.

Les galvanomètres du premier type dérivent tous du *multiplicateur de Schweigger* : un cadre vertical sur lequel est enroulé un fil de cuivre, est orienté dans le plan du méridien magnétique, une aiguille aimantée placée au centre du cadre, est maintenue par l'action du champ terrestre dans un plan parallèle aux spires. Dès qu'un courant continu traverse le fil, le champ créé par la bobine

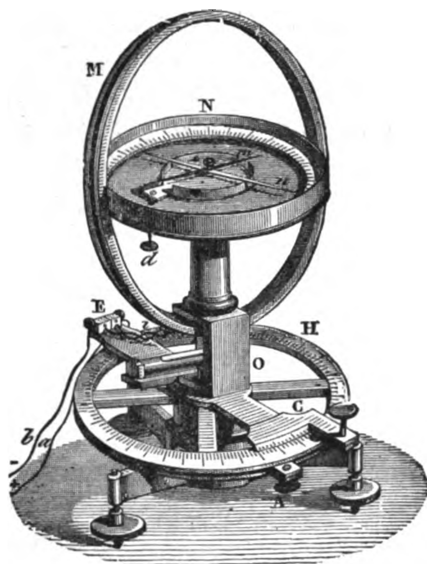


Fig. 1. — Boussole des tangentes.

donne avec le champ terrestre une résultante variable en grandeur et en direction ; l'aiguille aimantée vient alors se placer suivant cette résultante, indiquant ainsi la grandeur et le sens du courant.

Parmi les galvanomètres construits sur ce principe, en dehors des appareils très peu sensibles comme les galvanomètres-boussoles employés surtout comme galvanoscopes, on ne trouve plus guère aujourd'hui que les boussoles des tangentes et des sinus.

La *boussole des tangentes*, (fig. 1) très employée autrefois, n'est plus en usage que dans les administrations télégraphiques, où elle commence même à disparaître; très bien construite avec grand soin, sur des données parfaitement établies, elle sert aux mesures *absolues* les plus précises, mais son emploi dans l'industrie est complètement abandonné ; on peut en dire autant de la boussole des sinus.

La théorie élémentaire de la boussole des tangentes est cependant utile à rappeler, car elle peut servir de base à l'étude de tous les galvanomètres à aimant mobile.

Le champ magnétique créé par un courant circulaire de rayon a a pour valeur au centre

$$\frac{I\,dl}{a^2},$$

dl étant la longueur de l'élément de courant considéré; pour un rayon a la circonférence est $2\pi a$, et pour n tours, nous avons : $l = 2\pi n a$, donc

$$\mathcal{H}_B = \frac{2\pi n I}{a}.$$

La direction du champ $\mathcal{H}^B$ est perpendiculaire au plan du cercle. Si celui-ci se confond avec le plan du méridien magnétique, l'intensité du champ terrestre étant $\mathcal{H}$, un aimant, de moment magnétique $\mathfrak{M}$ placé au centre du cercle prend une position telle que

$$\mathfrak{M}\,\frac{2\pi n}{a}\cos\alpha = \mathfrak{M}\,\mathcal{H}\sin\alpha,$$

α étant l'angle que fait la ligne des pôles de l'aimant avec le plan du cercle.

On en tire

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2\pi n}{a\,\mathcal{H}}\,I,$$

c'est à dire que l'intensité est proportionnelle à la tangente de l'angle de déviation de l'aiguille, proportionnelle aussi au champ terrestre $\mathcal{H}$, mais *indépendante* du moment magnétique $\mathfrak{M}$ de l'aiguille ; cette dernière s'oriente simplement suivant la résultante des deux champs.

Quand l'aiguille est longue par rapport au rayon a des spires (en pratique, il faut avoir au plus une longueur $l_1 = \frac{a}{10}$), le rapport $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{I}$

n'est plus égal à $\frac{2\pi n}{a\mathcal{H}}$ *pour les grandes déviations.*

Dans les galvanomètres à miroir, la déviation est toujours très petite de telle sorte qu'on peut, dans la plupart des cas écrire :

$$\alpha = \frac{G}{\mathcal{H}} I, \qquad (3)$$

où G est un facteur qui dépend du nombre de tours et des dimensions de la bobine.

La *sensibilité* d'un tel système, c'est à dire le rapport $\frac{\alpha}{I}$, est égale à $\frac{G}{\mathcal{H}}$; elle varie en raison inverse de l'intensité du champ terrestre. Pour une bobine donnée, on ne peut donc augmenter la sensibilité qu'en augmentant G ou en diminuant $\mathcal{H}$, mais on est vite arrêté dans cette voie ; pour augmenter dans de grandes proportions la sensibilité des galvanomètres, il a fallu avoir recours à un autre artifice.

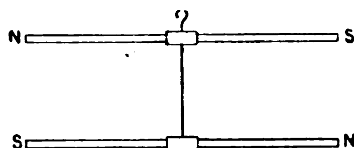


Fig. 2. — Équipage astatique.

Équipages astatiques. — Prenons deux barreaux aimantés dont les moments magnétiques sont égaux (fig 2) ; fixons-les parallèlement à une certaine distance l'un de l'autre, par une liaison rigide, leurs pôles de nom contraire en regard ; ce système suspendu par un fil de cocon ou porté par une chaîne sur un pivot, est en équilibre dans toutes les positions lorsque le champ magnétique dans lequel il est placé est uniforme : nous avons réalisé un système *astatique*. Pratiquement, cette astaticité complète n'est jamais atteinte, les deux aimants ont toujours une différence de moments, $\mathfrak{M} - \mathfrak{M}'$ et en outre leurs projections sur un plan perpendiculaire à l'axe de rotation ne sont jamais parallèles entre elles, elles font un angle θ qui peut être très voisin, mais n'atteint jamais 180° (fig 3); l'ensemble a un moment magnétique résultant

$$\mathfrak{M}_1 = \sqrt{\mathfrak{M}^2 + \mathfrak{M}'^2 + 2\mathfrak{M}\mathfrak{M}'\cos\theta},$$

et la résultante fait avec $\mathfrak{M}$ un angle θ_1 tel que

$$\cos\theta_1 = \frac{\mathfrak{M} + \mathfrak{M}'\cos\theta}{\mathfrak{M}_1}.$$

Il est plus facile d'obtenir l'égalité des moments $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{M}'$ que le parallélisme absolu des aimants; dans ce cas on peut écrire à très peu près,

$$\mathfrak{M}_1 = \mathfrak{M}\sqrt{2(1+\cos\theta)} \qquad \text{et} \qquad \theta_1 = \frac{\theta}{2}.$$

Ceci montre le fait très important pour le réglage des galvanomètres, qu'un équipage *astatique* a généralement sa résultante *perpendiculaire* au plan moyen des aimants composants ; donc un système semblable *n'est pas sans direction, mais il s'oriente presque toujours perpendiculairement au méridien magnétique.* Cette direction fixe l'orientation de la bobine ; il en résulte, quand l'action du courant n'est pas semblable sur les deux aiguilles,

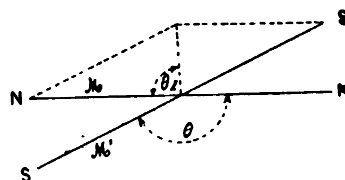


Fig. 3. (¹).

un défaut de proportionnalité du système dans les indications du galvanomètre. Ceci est surtout important dans les galvanomètres Nobili, très sensibles.

Galvanomètre Nobili. — Le premier en date des galvanomètres sensibles, il n'a plus aujourd'hui qu'un intérêt historique; sa sensibilité est très grande et n'a pas été beaucoup dépassée dans ces dernières années, pour les appareils à faible résistance.

Le *Nobili* (fig 4) se compose d'une bobine plate, ayant au centre un passage suffisant pour laisser l'aiguille tourner librement ; l'équipage mobile est astatique et composé de deux aiguilles en acier, longues et minces. Un écartement des fils, ménagé au milieu de la longueur de la bobine, permet d'introduire

(¹) Interchanger les lettres N et S des extrémités droites des axes des aiguilles.

l'aiguille inférieure au centre; celle-ci est soumise à l'action du champ magnétique maximum, tandis que l'aiguille supérieure placée en dehors de la bobine, est dans un champ beaucoup plus faible; mais les deux actions tendent néanmoins à faire tourner l'équipage dans le même sens, elles s'ajoutent. Le champ terrestre, lui, n'agit que sur la *différence*, ou sur la résultante $\mathfrak{M}_1$ qui est très faible ; on peut de la sorte augmenter indéfiniment la sensibilité.

L'aiguille supérieure porte un léger index qui se déplace devant un cadran divisé, celui-ci est porté par une plaque de cuivre rouge ; les oscillations de l'aiguille devant cette plaque développent des courants induits qui tendent à amortir le mouvement. Le plus grand reproche que l'on puisse faire à ce galvanomètre, c'est que par la forme de son

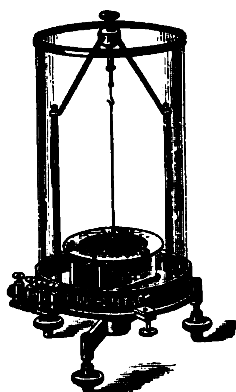


Fig. 4. — Galvanomètre Nobili.

équipage, le moment d'inertie est considérable, par suite, l'oscillation très longue et l'amortissement presque nul.

Dubois-Reymond a donné son nom à un galvanomètre du genre Nobili dans lequel la bobine, très volumineuse, contient un très grand nombre de tours de fil fin ; cet instrument est encore en usage chez les physiologistes.

Ces appareils peuvent être employés avec miroir et échelle, leur sensibilité augmente dans le rapport habituel.

Galvanomètre Thomson ([1]). — Dès le début de la télégraphie sous-marine, les mesures électriques prirent une importance capitale, il fallut créer presque de toutes pièces le maté-

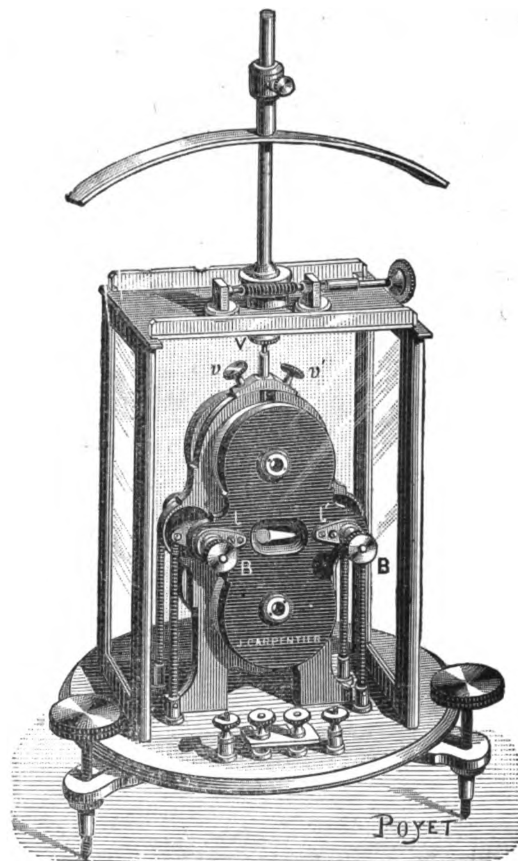


Fig. 5. — Galvanomètre Thomson.

riel nécessaire ; le galvanomètre Nobili qui était alors le seul appareil sensible existant, ne suffisait pas, la lenteur de ses indications en prohibait l'emploi ; ce fut alors que W. Thomson, dont le nom est indissolublement attaché au développement de l'industrie électrique, imagina le galvanomètre (fig 5 et 6) qui porte son nom, dont l'emploi a été presque exclusif pendant 30 ans.

([1]) Bien que l'usage ait prévalu de donner aujourd'hui à tous les appareils imaginés par *W. Thomson* le nouveau nom de leur auteur : *lord Kelvin*, nous croyons devoir conserver au galvanomètre si connu son appellation familière.

Le principe du galvanomètre Thomson est le même que celui de tous les galvanomètres à aimants mobiles; l'originalité du système repose dans l'étude raisonnée des conditions à remplir et dans les façons dont elles ont été réalisées. Il fallait obtenir à la fois un galvanomètre dont les indications soient rapides, un amortissement énergique et une résistance électrique aussi faible que possible, ce qui conduisait à étudier :

1° Un équipage astatique à très faible moment d'inertie et à moment magnétique élevé.

2° Un système amortisseur énergique.

3° La forme des bobines donnant le maximum d'action sur l'équipage avec la plus faible résistance électrique.

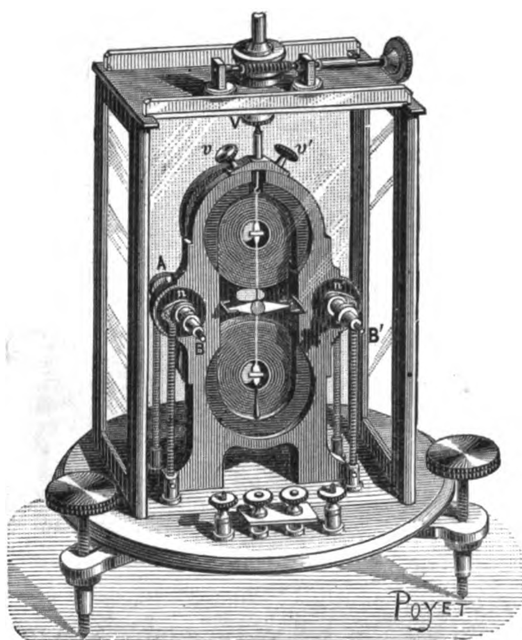


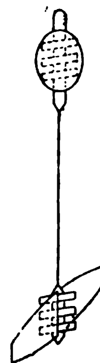
Fig. 6 — Galvanomètre Thomson.

4° Un système de réglage de la sensibilité.

Equipage. — La première condition a été réalisée par l'emploi de petits aimants fins et courts attachés sur un fil d'aluminium (fig 7). Pour obtenir le moment magnétique le plus élevé possible à égalité de moment d'inertie, W. Thomson a disposé plusieurs petits barreaux séparés les uns des autres de façon que leur influence réciproque fut assez faible. L'emploi de très petits aimants abaisse évidemment le moment magnétique total, mais il permet l'emploi de bobines créant un champ plus puissant à égalité de résistance, de telle sorte qu'il y a encore avantage de ce côté.

L'amortissement, qui est capital au point de vue de la rapidité des mesures, a été obtenu en munissant l'équipage d'une petite ailette très légère en aluminium ou en mica sur laquelle l'air exerce une résistance assez puissante pour arrêter rapidement les oscillations. La vitesse de cette palette étant toujours très faible, l'expérience montre que tout se passe comme si la résistance de l'air était simplement proportionnelle à la vitesse.

Bobine du galvanomètre. — Pour obtenir une bobine dont l'action soit maximum avec une résistance minimum, W. Thomson a simplement cherché quelle était la *section génératrice* à donner à une bobine circulaire pour obtenir $\frac{\mathcal{H}_B}{R}$ maximum.


Fig. 7.

Prenons une bobine de révolution autour de l'axe des x; une spire quelconque de cette bobine, dont le rayon vecteur est ρ, produit en O suivant la direction O x (fig 8), un champ magnétique

$$\mathcal{H}_B = I \frac{2\pi}{\rho} \sin\beta \cos\beta,$$

D'autre part la résistance électrique est

$$R = r_1 \, 2\pi\rho \cos\beta,$$

en appelant r_1 la résistance de l'unité de longueur du fil employé.

Le rapport

$$\frac{\mathcal{H}}{R} = \frac{\sin\beta}{\rho^2},$$

est constant pour tous les points d'une courbe telle que

$$\rho^2 = C \sin\beta,$$

par conséquent tous les points de cette courbe jouiront de la propriété d'être équivalents comme action spécifique ; pour des valeurs plus élevées de ρ, l'action spécifique diminue, elle augmente quand ρ diminue. Pour un volume déterminé de fil, nous avons avantage à faire l'enroulement sur une section termi-

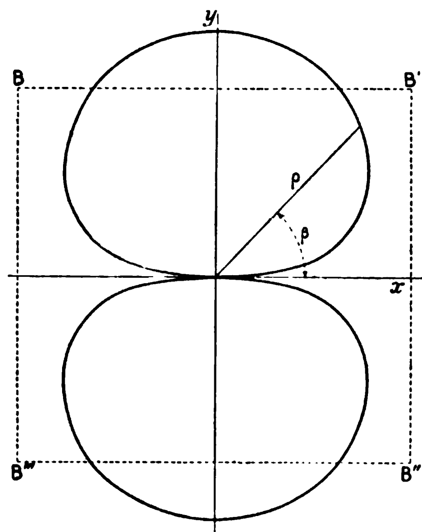


Fig. 8.

née par une courbe de la forme ci-dessus, car il est évident que si nous adoptons une autre section B B′ B″ B‴ et donnant à la bobine un *volume équivalent*, nous pouvons en portant tout le fil situé en dehors de la courbe 1 dans l'intérieur de celle-ci augmenter l'action des spires ainsi déplacées et par suite celle de la bobine entière, sans changer en rien sa résistance.

En pratique, on ne peut pas s'astreindre à cette forme d'enroulement : les bobines de galvanomètres sont généralement cylindriques, avec au centre un vide cylindrique d'un diamètre tel que *la circonférence enveloppe l'aimant ou le groupe d'aimants* sur lesquels la bobine doit agir ; en outre un intervalle est ménagé au centre, parallèlement aux spires, pour permettre le passage de l'équipage, la bobine est en réalité double. La seule condition que l'on cherche à réaliser, c'est que la section génératrice qui est rectangulaire, s'approche autant que possible de la courbe la plus voisine. Dans les premiers galvanomètres de Thomson, on enroulait non seulement les bobines suivant un gabarit voisin de la courbe théorique, mais encore on la composait des couches successives toutes terminées de la même façon, dans lesquelles le diamètre du fil allait en augmentant à mesure qu'on s'éloignait du centre. Cette disposition, très compliquée, est aujourd'hui presque totalement abandonnée, on ne l'emploie plus que très rarement dans les galvanomètres extra-sensibles destinés aux recherches délicates.

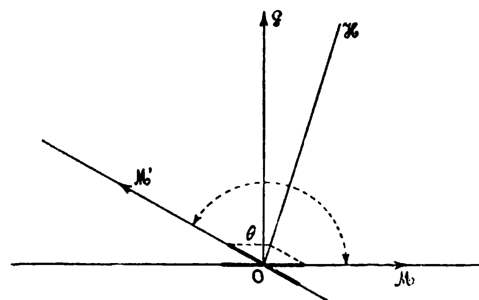


Fig. 9.

Pour une bobine de *forme* et de *dimensions déterminées*, la constante G est proportionnelle au nombre de tours qu'elle renferme ; soient

S, la section génératrice de la bobine,

d, le diamètre du fil enroulé,

e, l'épaisseur de l'isolant,

ρ, la résistance du fil employé,

σ, le rayon de la spire située au centre de gravité de la section S.

Le nombre de tours enroulés, est, en tenant compte que l'enroulement est fait d'ordinaire par couches dans lesquelles chaque fil vient se loger dans l'intervalle laissée libre par les deux spires voisines de la courbe précédente :

$$n = S\frac{1,118}{(d+2e)^2} \qquad (4)$$

et la résistance de la bobine et n fois la résistance de la spire moyenne

$$G = \frac{8 n \rho \sigma}{d^2} = 8{,}944 \frac{S \rho \sigma}{d^2 (d + 2c)^2} \qquad (5)$$

La constante G ne dépend pas seulement de la valeur, facile à calculer, du champ au centre de la bobine, mais de l'action totale sur le système aimanté qui n'est pas réduit à 2 pôles mathématiques; aussi détermine-t-on de préférence G expérimentalement. Les formules (4) et (5), n'ont pas pour but le calcul de G et n, mais elles sont importantes, lorsque partant d'un galvanomètre connu, on veut modifier l'enroulement.

Galvanomètre Thomson à 4 bobines. Prenons deux systèmes de bobines doubles, réa-

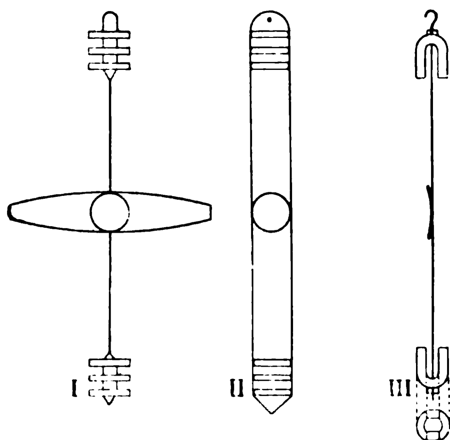


Fig. 10.

lisant les conditions indiquées plus haut; plaçons ces deux systèmes l'un au dessous de l'autre, et au centre de chacun mettons un des groupes d'aimants de l'équipage astatique (fig. 9); nous aurons réalisé le galvanomètre Thomson à 4 bobines universellement connu. Supposons-le orienté de telle sorte que l'un des aimants $\mathfrak{M}$, vienne, sous l'action terrestre, se placer parallèlement au plan des spires, c'est à dire que la résultante de l'équipage astatique soit dans le plan O $\mathcal{H}$ du champ terrestre; supposons également l'équipage assez astatique pour que $\mathcal{H}$ et G se confondent; les courants étant de sens opposés dans les 2 bobines ainsi que l'orientation des 2 systèmes aimantés, les forces concourantes sont de même signe et nous pouvons écrire, lorsque le système est dévié d'un angle α :

$$I\left[\mathfrak{M}\, G \cos\alpha - \mathfrak{M}'\, G' \cos(\alpha + \theta)\right] = \mathcal{H}\, \mathfrak{M}_1 \sin\alpha; \qquad (6)$$

pour $\mathfrak{M}\, G = \mathfrak{M}'\, G'$, c'est à dire lorsque les bobines et les aimants de chaque groupe sont

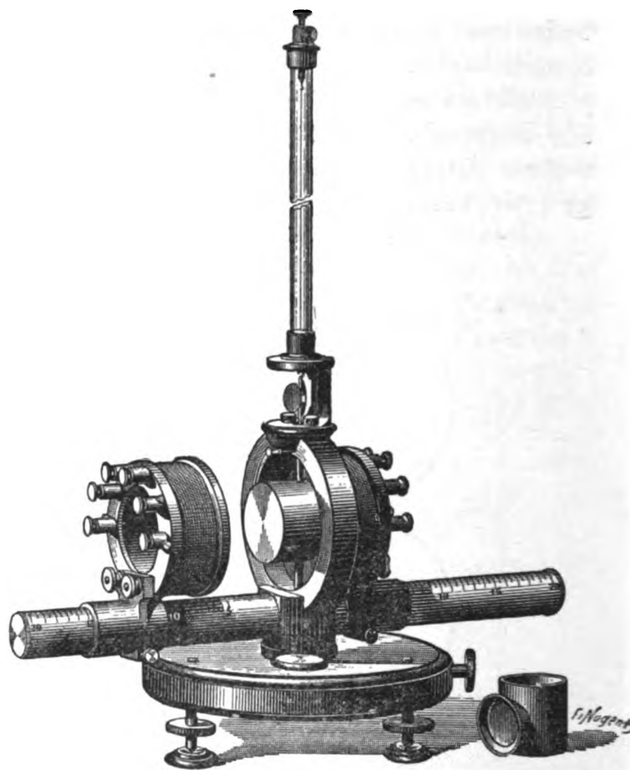


Fig. 11.

égaux, on obtient par développement en série :

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2 I G (1 - \cos\theta)}{\mathcal{H} \sqrt{2(1 + \cos\theta)} - 2 I G \sin\theta} \qquad (7)$$

ici, comme dans la boussole de tangentes, *l'influence du moment magnétique des aimants est nulle*, mais *les intensités ne sont pas proportionnelles aux tangentes.*

Au contraire, si nous faisons $\mathfrak{M}$ différent de $\mathfrak{M}'$ ou plutôt $\mathfrak{M}G$ différent de $\mathfrak{M}'G'$ et $\theta = 180°$ nous trouvons

$$\operatorname{tg}\alpha = I \frac{\mathfrak{M}\, G + \mathfrak{M}'G}{\mathcal{H}(\mathfrak{M} - \mathfrak{M}')}.$$

Dans ce cas il y a intérêt à augmenter le moment magnétique des barreaux et à diminuer

leur différence ; c'est d'ailleurs le seul cas dont on s'occupe en général. Comme en pratique, ni l'une ni l'autre de ces dispositions ne peut être rigoureusement atteinte, il est toujours préférable d'augmenter autant que possible l'aimantation des barreaux et de les amener au parallélisme le plus parfait.

Réglage de la sensibilité. — Plus l'équipage est atastique, plus la sensibilité est grande ; on cherche toujours pour des causes que nous verrons plus loin, à obtenir l'astaticité la plus parfaite possible, mais alors on augmente la durée d'oscillation de l'équipage aux dépens de la rapidité des mesures. On n'a d'ailleurs pas toujours besoin d'une très grande sensibilité et il est d'autres cas où, avec un équipage donné, celle-ci est trop faible. Pour régler à volonté cette sensibilité, Thomson a placé au dessus du galvanomètre un grand barreau aimanté qui agit sur l'équipage, et dont on peut faire varier l'action, en réglant la hauteur à laquelle on le fixe. Le champ $\mathcal{H}$ qui détermine alors la direction des aimants, est la résultante des champs terrestres et du champ créé par l'aimant directeur, le champ $\mathcal{H}'$ *a une valeur et une direction différentes* pour chacun des groupes d'aimants de l'équipage, car ceux-ci sont situés à des distances différentes de l'aimant directeur. On peut représenter l'équipage comme placé dans un *champ fictif* d'intensité $\mathcal{H}_1$ dans lequel il aurait une résultante $\mathfrak{M}$; l'équation (3) devient alors

$$\operatorname{tg}\alpha = I\,\frac{\mathfrak{M}G + \mathfrak{M}'G'}{\mathcal{H}_1\,\mathfrak{M}_1}. \qquad (9)$$

Le produit $\mathcal{H}_1\,\mathfrak{M}_1$ est variable au gré de l'observateur, puisqu'on peut changer la position de l'aimant directeur, mais il n'est pas susceptible d'une mesure directe, il faut donc déterminer la sensibilité en fonction de quantités directement mesurables.

Remarquons que le couple $\mathcal{H}_1\,\mathfrak{M}_1$ règle la durée d'oscillation et que nous avons

$$\sqrt{\frac{T = \pi K\left(1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}\right)}{\mathcal{H}_1\,\mathfrak{M}_1}} \qquad (10)$$

donc nous pouvons écrire l'équation (9) sous la forme :

$$\operatorname{tg}\alpha = I\,\frac{T^2}{1+\frac{\lambda^2}{\pi^2}}\,\frac{\mathfrak{M}G + \mathfrak{M}'G'}{\pi_2 K} \qquad (11)$$

Le facteur $\frac{\mathfrak{M}G \times \mathfrak{M}'G'}{\pi^2 K}$ ne contient, pour un galvanomètre donné, que des quantités constantes, il suffit donc de le déterminer *une fois pour toutes*, par une seule mesure des valeurs simultanées de I, tg α, λ et T.

Le galvanomètre en question sera complètement caractérisé dès que nous connaîtrons sa résistance g, son coefficient d'amortissement $b = \frac{\lambda}{T}$ et son coefficient de sensibilité $B = \frac{\mathfrak{M}G \times \mathfrak{M}'G'}{\pi^2 K}$.

Formes du galvanomètre Thomson. — Les formes du galvanomètre Thomson varient avec les constructeurs, mais les éléments essentiels restent comparables.

Les constructeurs anglais ont presque tous adopté la forme d'équipage représentée (fig. 7), le miroir est collé sur le groupe d'aimants supérieur, de telle sorte que pour ne pas intercepter les rayons réfléchis quand l'équipage est dévié, il faut donner au vide intérieur de la bobine correspondante une forme conique, la base étant en dehors ; cette forme est également nécessaire en bas pour laisser libre le mouvement des palettes de l'amortisseur.

En France, les galvanomètres Carpentier ont leurs bobines un peu plus écartées d'axe en axe et le miroir et l'amortisseur sont placés dans l'intervalle (fig. 10, I). Cette disposition, beaucoup plus maniable, paraît avoir, dans certains cas, l'inconvénient de favoriser l'action perturbatrice des forces électrostatiques.

Une forme meilleure (fig. 10, II), proposée par M. Ayrton, consiste à coller les aimants sur une lame de mica de largeur égale à la longueur de ceux-ci et à placer le miroir au milieu, on obtient ainsi un équipage très amorti, dont le moment d'inertie est assez faible.

En Allemagne, les galvanomètres Thom-

son construits par Siemens, présentent quelques particularités : l'équipage est formé par deux aimants en forme de cloche cylindrique fendue diamétralement sur une partie de sa hauteur; le moment magnétique ainsi obtenu est assez grand et les aimants se déplaçant dans une boîte en cuivre qui les embrasse presque entièrement, un amortissement électro-magnétique assez intense est réalisé. Enfin l'aimant directeur à hauteur variable de Thomson est remplacé par un système placé à hauteur fixe au-dessous du galvanomètre et composé de deux forts barreaux aimantés tournant autour de leur centre. Un bouton mobile qui commande un engrenage, permet de faire varier l'angle des deux barreaux, et leur orientation, soit simultanément, soit séparément. La variation de l'angle fait changer la grandeur de la résultante ; ce système est équivalent à l'aimant à hauteur variable de Thomson, mais il est d'un emploi moins commode.

Dans ces dernières années, un certain nombre de petits perfectionnements de détail ont été apportés à ces galvanomètres et les ont rendus beaucoup plus maniables. L'un des plus importants, imaginé par M. Carpentier et copié plus ou moins exactement depuis par tous les constructeurs, consiste à rendre le galvanomètre facilement démontable. Dans le modèle de la figure 6, les 2 paires de bobines portées par des joues en laiton, sont fixées au moyen de 4 boutons mobiles qui établissent en même temps les liaisons électriques, le démontage est ainsi très facile et l'on peut visiter l'équipage ou changer les bobines sans aucune difficulté.

Galvanomètre Wiedemann. — Le galvanomètre Thomson est d'un emploi général en France et en Angleterre; en Allemagne on se sert encore beaucoup du galvanomètre Wiedemann (fig 11). C'est un appareil généralement non astatique, dont l'équipage est formé par un disque d'acier poli et aimanté qui sert en même temps de miroir ; ce disque suspendu par un fil de cocon, oscille dans une cavité ménagée dans une masse de cuivre rouge qui assure l'amortissement.

Le montage des bobines est surtout le point caractéristique; elles sont en effet, portées sur une règle divisée qui permet de les écarter chacune de son côté, l'équipage restant fixe au milieu, et de faire ainsi varier la sensibilité dans de très grandes limites ; il y a également un aimant directeur susceptible de concourir au même but.

Tous les galvanomètres à aimants mobiles sont périodiques ; on peut, dans certains cas, notamment en augmentant leur sensibilité, les amener à l'apériodicité complète, mais ce n'est qu'une exception ; on peut obtenir un amortissement plus grand, comme l'a fait Thomson dans son galvanomètre marin, en faisant plonger l'équipage dans un liquide sirupeux, tel que la glycérine, mais alors l'amortissement devient trop énergique, et le retour au zéro est si lent qu'on n'y gagne rien, au contraire.

(*A suivre*) A. Armagnat.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Statistique d'exploitation des tramways électriques à conducteurs en caniveau, de Washington.

Comme complément à ce que nous avons déjà publié sur le tramway de la 9e rue, à Washington (t. VI, p. 502 ; 14 mai 1896), nous reproduisons les chiffres suivants publiés par le *Street Railway Journal* ; ils se rapportent au mois de janvier 1896 et comprennent les frais de traction, de chauffage et d'éclairage des voitures ; l'exploitation se fait par trains de 2 voitures, une motrice et une attelée ; chacune de celles-ci a 4,80 m de long.

Station centrale

Mécaniciens	917,60 fr
Chauffeurs	607,50
Main d'œuvre autre	737,00
Renouvellement et réparation des outils	227,25
Huile et chiffons	312,00
Eau	0,00

Combustible	2 685,00
Réparation des moteurs à vapeur	290,15
» dynamos	8,00
» chaudières	3,00
Tableau de distribution et canalisation intérieure	96,35
Conducteur	1,50
Pompes	8,35
Divers	1,50
Total	5 895,20

Réparations des voitures et de leur équipement

Travaux divers	332,15
Freins et sabots	219,15
Contrôleurs	144,20
Réparations diverses	499,45
» du trôlet	626,85
Roues et essieux	175,00
Protecteurs	163,25
Réparations diverses	508,30
Canalisation intérieure	212,50
Renouvellement et réparations des outils	58,45
Réparation des armatures	284,35
» des inducteurs	53,40
Coussinets et fusées	217,35
Réparations diverses des armatures	261,25
Chasse neige et sabliers	61,85
Réparation des appareils de chauffage	0,00
Peinture et vernissage	518,25
Divers	283,65
Total	4 622,40

Résultats Généraux

Voitures-km (motrices)	153 975
Trains-km (de 2 voitures)	153 975
Frais par train-km (centimes)	28,97
» » (station centrale)(cent.)	3,82
» » (Rép. des voitures)(»)	3,00
Kilowatts-heures (total)	113 355
(par train km)	0,737
Charbon par kilowatt heure (kg)	1,770

Sur la production des longues étincelles et sur application aux parafoudres, par C. E. Skinner et A. J. Wurts (1).

Lorsqu'une ligne est frappée par la foudre ou qu'elle atteint un degré dangereux d'électrisation, il faut faciliter sa décharge sans que le courant des dynamos puisse suivre le même chemin que la décharge, soit avant soit après celle-ci.

M. Skinner a observé dernièrement le phénomène suivant qui a été étudié par lui et par M. A. J. Wurts en vue de la réalisation d'un parafoudre pour les circuits à haute tension.

Si l'on provoque la décharge d'un transformateur ou d'une machine électrostatique entre deux rhéophores qui reposent sur une plaque de verre armée sur la face opposée d'une feuille d'étain communiquant avec l'un des rhéophores, l'étincelle peut avoir une longueur environ dix fois plus grande que si elle éclatait directement dans l'air, ou que si, éclatant le long de la plaque de verre, la communication entre un des rhéophores et la feuille d'étain était supprimée (1).

Ainsi, une série de transformateurs donnant une f. é. m. maxima de 35 000 volts à 16 000 périodes par minute provoquait, dans l'air libre, des étincelles de 17,8 mm environ ; avec le dispositif décrit, les étincelles atteignent 127 à 152 mm. On peut, sans changer les résultats, intercaller un condensateur en série entre la feuille d'étain et le rhéophore.

On a remarqué aussi que l'arc une fois formé suit la plaque de verre de très près, qu'il affecte la forme d'une courbe de préférence à un trajet rectiligne et qu'il se forme rarement deux fois de suite à la même place.

Si l'on trace sur la plaque de verre une ligne au crayon à la mine de plomb, ou à la plombagine, entre les boules de l'excitateur, les résultats sont encore plus marqués, comme le montrent les chiffres suivants, obtenus avec une batterie de 6 bouteilles de Leyde de 2 litres, chargée par une machine de Voss pouvant donner 15 cm d'étincelles :

(1) *The Electrical Engineer*, (N. Y.) 10 juin 1896, p. 613.

(1) On sait depuis longtemps que l'approche d'une surface même non conductrice comme le verre provoque un allongement des étincelles et l'on a reconnu aussi, dans les expériences sur les photographies des étincelles, l'action de l'armature en étain, mais nous ne croyons pas qu'on ait encore réalisé la connexion entre cette dernière et l'un des rhéophores, ce qui, comme on voit, permet d'engendrer des étincelles beaucoup plus longues. G. P.

Etat de la surface du verre	Longueur des étincelles cm	Longueur correspondante des étincelles dans l'air cm	Remarques
Unie..........	19,7		
Mine de plomb.	41,25		
Unie..........	31,7	3,8	Après avoir effacé le trait de crayon, probablement d'une façon incomplète.
Mine de plomb.	43,7	3,6	
»	48,3	4	Trait plus fort.
Plombagine....	59,7	3,8	
»	71,0	2,9	

Si l'on supprime la connexion entre l'armature d'étain et l'un des rhéophores, toutes autres choses égales, la longueur des étincelles se rapproche de ce qu'elle serait si cette armature n'existait pas :

Etat de la surface du verre	Longueur des étincelles	Remarques
Unie..........	21,6	avec connexion.
»	6,35	sans »
Plombagine....	75,5	avec »
»	44,4	sans »

L'application de ce phénomène aux parafoudres est évidente, puisqu'il permet d'augmenter l'intervalle par lequel se fait la décharge à tension égale. Avant de savoir si elle était pratique, il fallait se rendre compte si le courant des dynamos ne pouvait suivre le passage offert à la décharge. Dans ce but, M. Wurts fit les expériences suivantes :

Les rhéophores, au lieu d'être reliés aux pôles d'une machine électrostatique, furent réliés aux bornes d'un circuit à courants alternatifs, et la plaque de verre fut marquée à la plombagine.

Lorsque la tension était de 30 000 volts, de fortes aigrettes se formaient entre les rhéophores écartés à 62 cm ; le trait de plombagine sur le verre ne semblait pas influer sur le passage de la décharge, car celle-ci se produisait indifféremment sur la plombagine ou sur le verre nu.

On introduisit ensuite un intervalle d'air de 6,3 mm dans le circuit à haute tension et le voltage fut abaissé progressivement à 15 000 volts ; il se produisait, dans ces conditions, une perte accompagnée d'un sifflement considérable à l'intervalle d'air, mais aucune aigrette sur la plaque. A 12 000 volts toute fuite cessa.

Les rhéophores furent ensuite connectés à la fois avec la dynamo et avec la machine statique ; on provoqua la décharge de cette dernière et l'on observa si le courant pouvait suivre ce passage ; les rhéophores étaient formés soit de métaux ordinaires, soit des blocs employés dans les parafoudres Wurts pour tramways. On sait que le but de ces blocs est de supprimer la formation des vapeurs métalliques aux électrodes, vapeurs qui sont nécessaires pour la formation et le maintient de l'arc. On obtint ainsi les résultats suivants :

Nature des rhéophores	Voltage	Distance entre les blocs	Remarques
Avec blocs .	12 000	2,54 cm	Le courant suit la décharge.
»	12 000	7,62	Le courant ne passe plus.
Sans blocs .	12 000	10,79	Le courant passe.
»	12 000	15,24	Le courant ne passe plus.
»	15 000	15,24	Le courant passe.

En se basant sur ces expériences, on a construit un parafoudre qui s'appliquerait à des circuits parcourus par des courants dont la tension peut atteindre jusqu'à 30 000 volts.

Dans ces expériences, l'action de la plaque de verre et de la plombagine sont faciles à comprendre. Pour expliquer l'allongement des étincelles qui se produit lorsqu'on relie la feuille d'étain à l'un des rhéophores, M. Skinner suppose que cette disposition a pour effet d'induire sur la face libre du verre une charge de signe contraire qui forme en quelque sorte un prolongement du second rhéophore.

M. Wurts, ayant remarqué que les particules de poussière venant au contact de la plaque de verre sur le côté non armé sont immédiatement repoussées, suppose qu'il se produit un effet analogue pour l'air, d'où une raréfaction qui rend compte de l'al-

longement des étincelles. Cette dernière explication paraît peu probable, car d'un côté la raréfaction devrait être considérable pour que la longueur des étincelles soit assez augmentée et d'un autre côté, s'il en était ainsi, les caractères de la décharge ne seraient plus les mêmes, tandis que M. Wurts déclare que « l'étincelle est forte et accompagnée d'un craquement assourdissant ».

G. P.

La montée des rampes en tramway électrique, S. L. Foster (¹).

La montée des rampes, dans l'industrie des tramways est un mal nécessaire; les voitures doivent suivre les voies quelles qu'elles soient. Avec la traction animale on ne pouvait guère dépasser des déclivités de 6 pour 100; les chevaux de renfort devenaient nécessaires, coûtaient fort cher; encore la Société Protectrice des animaux ne le permettait pas toujours. Au point de vue mécanique, la traction funiculaire donnait une solution parfaite, mais au point de vue économique, les frais de premier établissement énormes qu'elle entraîne en prohibaient souvent l'emploi.

La traction électrique a fourni dans ces derniers temps, la solution réellement pratique; l'emploi de moteurs puissants, d'une construction mécanique robuste, d'un rendement élevé a permis d'aborder des rampes très importantes, considérées jusque là comme dangereuses et même impossibles.

On emploie deux moteurs de 25 chevaux montés sur les essieux d'un truck rigide, afin d'obtenir l'adhérence totale. Ces moteurs sont plus puissants que ne l'exige le service en palier; or la longueur totale des rampes n'est jamais qu'une faible partie de la longueur totale des lignes; la présence d'une forte rampe exige donc l'emploi de moteurs plus lourds et qui, la plupart du temps travaillent dans de très mauvaises conditions de rendement. C'est un des inconvénients des rampes.

Un autre inconvénient, c'est que la vitesse aux montées, tout en étant incomparablement plus grande qu'avec les chevaux, est forcément réduite. En effet, l'effort de traction en rampe est très considérable; pour développer cet effort, le moteur doit tourner à une vitesse assez faible.

Ces inconvénients sont en partie rachetés par ce fait que le trafic charretier sur les rues à pentes très fortes est excessivement faible. Les voitures de tramways peuvent donc accomplir le trajet sans arrêt et à vitesse constante, tandis qu'en palier elles sont forcées de s'arrêter à tout instant, ce qui est, comme on sait, une cause de dépense de courant considérable.

Il est d'ailleurs plus avantageux de monter les rampes à faible vitesse qu'à grande vitesse sur les rampes dont la déclivité dépasse 6 p. 100. Cela tient au mode de réglage des moteurs électriques, avec le contrôleur série parallèle. Lorsqu'on groupe les moteurs en série, la vitesse est bien réduite, mais l'intensité du courant est aussi plus faible, ce qui offre plusieurs avantages considérables. En effet, si l'on groupe les moteurs en dérivation, la vitesse sera un peu plus que doublée, mais l'intensité du courant devenant deux fois plus forte, il en résultera :

1° Que des étincelles se produiront aux commutateurs qui devront être plus souvent réparés ainsi du reste que les paliers, fusées, engrenages qui font un service beaucoup plus rude;

2° Que la demande de courant à la station centrale deviendra excessive, surtout si plusieurs voitures sont simultanément sur des côtes; cela force à faire marcher les moteurs et les dynamos dans des conditions de charge défavorables la plupart du temps et peut même causer des irrégularités dans le service;

3° Que les chaudières, les moteurs, les dynamos, les feeders, doivent avoir une capacité beaucoup plus grande, ce qui augmente les frais de premier établissement;

(¹) Mémoire lu à la première réunion annuelle de la California Street Railway Association, 21 Avril 1896.

4° Que les lampes des voitures donneront un mauvais éclairage et seront souvent brûlées, car la conductibilité des feeders aux rampes étant plus grandes que partout ailleurs, le voltage sera beaucoup plus élevé en ces points que sur tout le restant du parcours.

Ces inconvénients sont évités par l'emploi du groupement en série qui diminue de moitié l'intensité du courant. La perte de temps qui résulte de la diminution de vitesse est très faible en raison du peu de longueur des rampes; ainsi sur une ligne de 10 km à simple voie, comprenant 5 fortes rampes dans chaque direction, on ne perdait qu'une minute et demie sur chaque voyage, soit 3 minutes sur l'aller et retour, la durée totale de ce dernier trajet étant de 50 minutes. Dans la plupart des cas, cette diminution de vitesse n'entraînera donc pas à mettre un plus grand nombre de voitures en service pour effectuer un trafic donné.

Il faut remarquer, cependant que, avec le groupement en dérivation, les moteurs travaillant dans de meilleurs conditions de rendement, la dépense d'énergie électrique par voiture-kilomètre est moindre qu'avec le groupement en série, ce qui permet de réaliser une économie de charbon, sur les rampes dépassant 6 pour 100. Sur les rampes plus faibles, c'est le contraire qui se produit. C'est au directeur ou l'ingénieur de déterminer dans chaque cas, suivant la nature du trafic, quelle solution il vaut mieux adopter ; la plupart du temps, le groupement en série sera préférable.

La question qui se présente ensuite à l'esprit est celle-ci : Quelle est la déclivité maxima qu'on peut remonter ? La réponse à cette question dépend évidemment du poids adhérent et du coefficient de frottement des roues sur les rails ; la valeur maxima des rampes peut donc varier considérablement d'un point à un autre, et suivant l'état des voies. A San Francisco, les tramways électriques font un service régulier, montée et descente, sur des voies dont la déclivité atteint 14,54 pour 100 ; sur la ligne de Piémont, à Oakland, la déclivité atteint 14,25 pour 100.

Il faut non seulement monter les rampes, mais encore faut-il les descendre avec sécurité ; c'est un point beaucoup plus délicat que la montée ; aussi sur la ligne de Rainier Avenue à Seattle (Wash), les voitures remontent une rampe de 16,85 pour 100, mais ont dû être munies d'un dispositif spécial pour la descente.

En effet, à la montée, le moteur agit contre la pesanteur ; s'il est assez puissant et si l'adhérence a une valeur convenable, la voiture monte avec une vitesse constante. A la descente, la pesanteur tend à imprimer à la voiture une vitesse croissante et rien ne lui est opposé, sinon l'action des freins. La manœuvre de ceux-ci est très délicate et demande une attention soutenue et un effort d'intelligence notable de la part du cocher mécanicien.

Les pentes peuvent être descendues avec sécurité, car à San Francisco, sur la ligne d'Harrisson Street, entre la 3e rue et Hawthorne, une pente atteignant 14 pour 100 sur 200 mètres de longueur est descendue depuis plus de 4 ans sans un seul accident, bien que le trafic charretier dans la 3e rue, au bas de la pente, soit le plus chargé de toute la ville. Mais il faut des précautions spéciales. D'abord il faut avoir soin que la voiture au sommet de la côte, soit au repos absolu avant de la laisser descendre ; on est ainsi plus maître de régler sa vitesse. Ensuite, les freins ne doivent pas être serrés à bloc ; ils doivent appuyer aussi fortement que possible sur les roues, mais celles-ci ne doivent jamais être calées ; on sait, en effet, que le travail absorbé dans ces conditions est maximum.

Enfin, le courant ne doit jamais être lancé dans les moteurs et le mécanicien doit toujours être prêt à faire machine arrière en cas de danger. En prenant ces précautions, on pourra éviter que la voiture prenne jamais des vitesses dangeureuses et on pourra l'arrêter aisément.

Il faut condamner absolument la pratique

de certains mécaniciens qui, pour descendre plus vite, serrent les freins à bloc et lancent le courant dans les moteurs groupés en série, ce qui empêche les roues de se caler. Dans ces conditions, en cas de danger, d'abord, comme la vitesse est plus grande, il devient plus difficile d'arrêter la voiture; ensuite le mécanicien doit pour faire machine arrière, desserrer les freins, ramener la manette du contrôleur au zéro, puis manœuvrer le commutateur inverseur et enfin retourner dans ces conditions la manette à la position voulue pour faire marcher les moteurs en arrière; toutes ces manœuvres font perdre un temps précieux. En troisième lieu, cette pratique est très peu économique puisqu'on consomme du courant à la descente, ce qui est contraire au but qu'on poursuit de récupérer l'énergie électrique.

Lorsque les pentes sont trop considérables pour pouvoir être franchies uniquement par adhérence, on peut employer un des systèmes à contrepoids que nous avons décrits à différentes reprises et qui ont permis d'aborder des rampes de 68 pour 100 à Mont-Lowe, de 25,54 pour 100 dans Fillmore Street, à San Francisco et de 16,85 pour 100 à Seattle, tout en assurant la descente sans danger et en permettant d'effectuer une récupération élevée dans des conditions très rationnelles.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la convection électrique suivant les lignes de force, produite par les rayons de Roentgen, par A. Righi (1)

« Dans mes publications diverses sur les phénomènes électriques produits par les rayons de Roentgen, j'ai toujours interprété les faits observés comme s'il était démontré que le mécanisme de la propagation de l'électricité est le même que lors de la dispersion par les pointes aiguës, ou de la dispersion à la surface des conducteurs chauffés au rouge, ou de la dispersion produite par les rayons ultrà-violets. Je me réservais de montrer, dans un mémoire comprenant l'ensemble de mes recherches sur ces phénomèmes, de quelle manière l'élecricité se propage dans les gaz traversés par ces rayons ; je crois bon cependant de faire connaître, dès à présent, quelques expériences qui me paraissent démonstratives.

» Une boule métallique est placée à quelques centimètres d'une lame d'ébonite qui porte, sur la surface extérieure, une armature métallique. Entre la lame et la boule, on place une petite croix d'ébonite. La boule et l'armature sont maintenues chargées d'électricités contraires, au moyen d'une petite machine électrique.

» Si, la boule étant négative, on fait tomber sur sa surface des rayons ultra-violets, on obtient sur l'ébonite, après un temps suffisant, l'*ombre électrique* de la croix. Il suffit de prendre la lame d'ébonite et de projeter sur elle le mélange de soufre et minium, pour voir apparaître une croix jaune sur fond rouge.

» Au lieu des rayons ultra-violets, faisons agir les rayons X. Dans ce but, on emploie un tube de Crookes placé de manière que les rayons X qui en émanent traversent l'air qui se trouve entre la boule et la lame. Il est bon de placer, entre le tube et les appareils, une grande lame mince d'aluminium (ou mieux de renfermer le tube dans une enceinte métallique) communiquant avec le sol. Le résultat de l'expérience est le même que précédemment.

» La forme de l'ombre et la place qu'elle occupe indiquent qu'elle est projetée par les lignes de force. La croix arrête mécaniquement celles des particules électrisées qui se meuvent suivant les dites lignes, qui la rencontrent, de manière qu'elles ne peuvent pas aller déposer leur charge sur l'ébonite.

(1) *Comptes rendus* t. CXXIII, p. 399 ; séance du 24 août

» La poudre jaune qui adhère dans l'ombre y est attirée par la charge d'influence de l'armature.

» Pour juger jusqu'à quel point les trajectoires des particules électrisées coïncident avec les lignes de force, j'ai eu recours aux systèmes cylindriques, comme j'avais fait déjà lors de mes recherches sur les autres cas de dispersion.

» Au lieu de la boule, on emploie un long cylindre et, au lieu de la croix, une bande rectangulaire d'ébonite. Les lignes de force sont alors des arcs de cercle, et il est aisé de calculer d'avance la place que l'ombre de la bande doit occuper. Après l'expérience. on vérifie que l'ombre occupe sensiblement la place prévue.

» Il me semble que ces expériences montrent bien l'existence d'une convection suivant les lignes de force et viennent ainsi confirmer mes vues anciennes sur le mécanisme de la propagation de l'électricité dans les gaz.

» Je suis heureux de constater l'accord entre ma manière de voir et celle qu'a formulée récemment M. Villari (¹). Ce physicien conclut, de ses ingénieuses expériences, que la dispersion produite par les rayons X est une convection: mes expériences précisent davantage le mécanisme du phénomène, en indiquant quelles sont les trajectoires parcourues. »

Sur le passage de l'électricité à travers les gaz, par H. Paalzow et F. Neesen (²)

I. — *Faits expérimentaux.* — Si la batterie de charge fournit une différence de potentiel constante V, la décharge dans les gaz ou les vapeurs commence à une pression déterminée p_0. Si on fait décroître la pression, l'intensité du courant croît d'abord, passe par un maximum et décroît ensuite jusqu'à une valeur nulle. Soient p_m et p_i les pressions correspondant à ce maximum et à cette valeur nulle.

(¹) *Comptes rendus*, 13 juillet 1896. *L'Éclairage Électrique* t. VIII, p. 282; 1er août 1896

(²) *Wied. Ann.*, t. LVI, p. 276 et 700.

La pression p_m est caractérisée par l'intensité du courant, et aussi par une lueur bleuâtre qui forme comme une cloche évasée autour de la cathode. Sa valeur augmente un peu avec le diamètre *d* du tube et aussi quand la distance *l* des électrodes diminue, mais elle ne dépend pas de la valeur V du potentiel de la batterie.

La pression p_0 est d'autant plus élevée que la différence de potentiel V est plus grande, que le tube est plus large et la distance des électrodes plus petite.

La pression p_i à laquelle cesse la décharge est d'autant plus petite que V et *d* sont plus grands et que *l* est plus petit.

2-3. L'échauffement du gaz est proportionnel à l'intensité I du courant. Le facteur de proportionnalité $C = \frac{W}{I}$ varie avec la pression : il est minimum pour la pression p_m.

Sous une pression donnée, la différence de potentiel E entre les électrodes croît avec la différence de potentiel V de la source, mais tend rapidement vers une valeur limite. Les grandeurs C et E sont indépendantes du diamètre du tube.

Aux pressions élevées, l'électrode positive s'échauffe plus que l'électrode négative : aux basses pressions c'est le contraire qui a lieu.

4. Un téléphone placé dans le circuit d'une pile de 700 éléments en même temps que le récipient à gaz reste silencieux quand la pression du gaz a la valeur p_m ; mais si on fait varier cette pression le téléphone rend un son musical; au voisinage de la pression p_i, le son devient sifflant et dans le gaz on observe entre les lueurs de l'anode et de la cathode un faisceau lumineux rose qui s'étend jusqu'aux parois du tube.

5. Les strates n'apparaissent qu'aux pressions inférieures à p_m.

6. Les phénomènes sont les mêmes avec l'air, l'oxygène, l'hydrogène et aussi avec la vapeur de mercure qui est monoatomique.

7. En reliant l'une des électrodes au sol, on peut constater l'existence de charges électriques sur les parois du récipient à gaz.

Quand il ne passe pas d'électricité, c'est à dire aux pressions p_o et p_i, cette charge du tube est extrêmement faible. Quand le courant passe, le tube reçoit de fortes charges, dont le signe est celui de l'électrode qui le charge.

Pendant le passage du courant, des sondes entourées de verre, manifestent une charge très forte : un électroscope relié à une sonde reçoit l'électricité correspondant à l'électrode isolée.

8. La nature du milieu qui entoure le tube à décharge exerce une notable influence sur les phénomènes, surtout au voisinage des pressions limites p_o et p_u; cette influence est d'autant plus grande que le milieu est plus conducteur. Si on plonge le tube dans un liquide conducteur, on diminue la valeur de p_o et on augmente celle de p_i : et dans ce cas les sondes accusent des charges plus fortes. Un conducteur reliant le liquide au sol est parcouru par un courant intense tant que dure la décharge dans le tube : le signe de l'électricité transportée par ce courant est celui de l'électrode isolée.

9. Si la f. é. m. de la source est insuffisante pour produire la décharge dans tout le tube à gaz, cette décharge peut être provoquée même sous la pression atmosphérique par des forces extérieures, quand celles-ci produisent une étincelle dans l'intérieur du gaz. Ces étincelles peuvent être produites par l'électrisation du tube.

Si le gaz du tube se trouve en équilibre instable au voisinage des pressions limites p_o et p_i, sans qu'il se produise de décharge, il suffit pour provoquer celle-ci d'approcher un bâton de cire frotté.

Quand plusieurs tubes sont mis en série dans le circuit, il suffit d'exciter l'un d'eux de cette manière pour que tous les autres entrent en activité.

10. Quelle que soit la source, piles, machine d'induction, machine statique, le partage de la décharge entre le gaz et une dérivation se fait de la même manière : pour les pressions inférieures à p_o et supérieures à p_m la décharge passe en totalité dans le conducteur, à partir du moment où la pression est égale à p_m, et au dessous la majeure partie de la décharge passe dans le gaz : la portion qui passe par le conducteur devient de plus en plus petite quand la pression diminue.

11. Aux pressions p_o et p_i le courant ne commence pas immédiatement après la fermeture du circuit; dans certains cas les décharges sont intermittentes et séparées souvent par des intervalles de plusieurs minutes. Généralement en changeant le sens des communications on facilite le passage du courant.

12-13. La variation de la température n'a pas d'influence sur la décharge tant que la pression demeure la même : l'illumination paraît aussi sans action.

II. — *Essai de théorie.* — Les propriétés des décharges décrites ci-dessus ne permettent pas d'identifier le rôle des gaz avec celui des conducteurs métalliques ou électrolytiques, car dans ces derniers la décharge se produit pour toute valeur, si faible qu'elle soit, de la différence de potentiel, le dégagement calorifique est proportionnel au carré de l'intensité et la différence de potentiel entre les extrémités d'un segment du conducteur croît avec la f. é. m. de la source.

Pour ce motif, les auteurs du Mémoire se rallient à une hypothèse formulée autrefois par Siemens [1]. Suivant cette hypothèse, la polarisation électrique d'une molécule du diélectrique ne peut dépasser une certaine limite dépendant de la nature et de la densité du corps : un excès de tension ou de polarisation ne peut être compensé ou entretenu que par un phénomène mécanique de nature encore inconnue, mais accompagné de lumière, de chaleur et d'action chimique.

D'après cette hypothèse, la décharge dans les gaz se produirait d'une molécule à l'autre, quand la différence de potentiel entre une molécule et sa voisine a dépassé une certaine limite e, en sorte que si n est le nom-

[1] *Pogg. Ann.*, t. CII, p. 66, 1858.

bre de molécules qui se trouvent entre les deux électrodes et E la différence de potentiel entre ces électrodes, la décharge aurait lieu quand $E = ne$.

La pression du gaz diminuant, le nombre n diminue et par suite la différence de potentiel limite E. En appelant c la capacité de chaque molécule, m le nombre de files de molécules qui réunissent une électrode à l'autre, z le nombre de décharges par seconde, l'intensité du courant sera :

$$I = ce \sum_1^m z,$$

et la quantité de chaleur dégagée :

$$\frac{e^2}{2} c \sum_1^m nz$$

en supposant que la différence de potentiel entre deux molécules voisines devienne nulle après la décharge.

Ces hypothèses expliquent les faits décrits dans les paragraphes 1 à 4.

La nature chimique du gaz pourrait avoir une influence seulement si la limite de polarisation e variait d'un gaz à l'autre.

Les charges observées sur les parois des tubes proviendraient de ce que pendant le passage du courant, chaque molécule reçoit un excès d'électricité qu'elle céderait en partie aux parois.

Quant à l'effet d'une force extérieure (10), il résulterait de ce que cette force polariserait une partie des molécules et que la f. é. m. primitive suffirait ensuite à polariser les autres.

La chaleur n'aurait d'influence sur la décharge qu'en dissociant les molécules ; c'est seulement alors que e et n peuvent changer et par suite que la valeur des expressions :

$$\sum_1^m nz \quad \text{et} \quad \sum_1^m z$$

peut varier.

III. — *Expériences.* — La source employée dans les expériences était constituée par une pile de 700 éléments à l'acide chromique. L'un des pôles de cette pile était relié par l'intermédiaire d'un galvanomètre G (fig. 1) à un commutateur K formé de godets à mercure creusés dans la paraffine. De ce commutateur part un autre fil qui va d'abord à une ou plusieurs résistances W, constituées par des tubes remplis d'une dissolution d'iodure de cadmium dans l'alcool amylique.

L'autre extrémité de ces résistances est reliée à l'électrode 1 du tube R ; l'électrode 2 est en communication avec l'un des godets du commutateur et le second pôle de la pile, avec un autre godet ; en général ces godets sont mis au sol. L'électrode 1 du tube com-

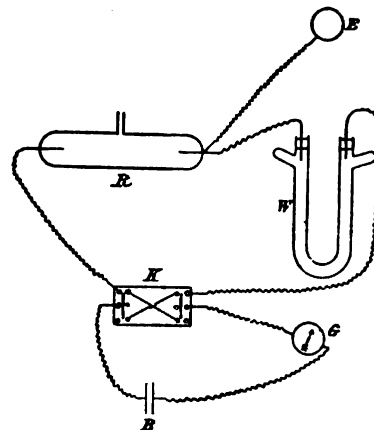


Fig. 1.

munique avec l'aiguille d'un électromètre dont une des paires de quadrants est supprimée et l'autre mise au sol.

Pour déterminer la quantité de chaleur dégagée dans le tube, la disposition est la suivante. La source d'électricité est une bobine d'induction J (fig. 2). Le tube est plongé dans le calorimètre C, ses pôles sont reliés à ceux de la bobine par l'intermédiaire du galvanomètre G ; ou bien les communications sont telles que les représentent les lignes pointillées, le pôle 1 de la bobine est relié à l'armature 1 du condensateur et au sol, le pôle 2 est relié au tube au galvanomètre et à l'armature 2 du condensateur. La clef n sert à ouvrir ou fermer le circuit inducteur.

Quand on lève la clef, il se produit dans le circuit secondaire de la bobine une quantité d'électricité induite dont la valeur est déduite de la déviation du galvanomètre, l'observation

du calorimètre donne la quantité de chaleur dégagée dans le tube par le passage de cette électricité.

La figure 3 représente l'appareil destiné à comparer les propriétés de l'oxygène et de l'hydrogène. Le tube S est rempli d'acide sulfurique, et dans cet acide plongent deux électrodes de platine reliées aux pôles d'une pile *b*. L'une des branches du tube conduit à un tube de décharge R_1, ensuite à une soupape à mercure V ; cette soupape est formée par une partie du tube courbée en U au fond duquel est soudé un autre tube *a*, qui com-

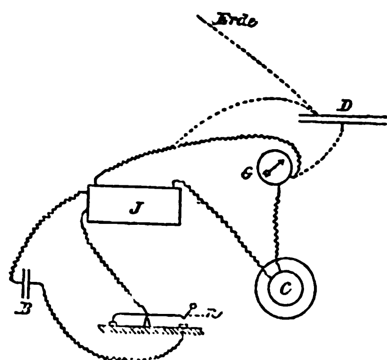


Fig. 2.

munique par un tube de caoutchouc avec un entonnoir rempli de mercure.

La seconde branche du tube S communique avec un autre tube à décharges R_1, enfin le tube *b* conduit à la pompe. L'air ayant été extrait de l'appareil, on fait passer le courant en S, l'oxygène et l'hydrogène se dégagent, on vide de nouveau, puis on fait monter le mercure en *u*. En faisant dégager encore un peu de gaz en S, on remplit l'appareil comme il est nécessaire. Pour étudier la vapeur de mercure, on fait passer un peu de mercure dans un tube qu'on vide d'air ensuite, on fait varier la pression en chauffant plus ou moins.

Dans un tube large de 4,5 mm le courant de 600 éléments passe si le tube renferme de l'oxygène, mais ne passe pas s'il contient de l'hydrogène.

Les sondes destinées à étudier les charges du tube sont formées par des fils ou des lames de platine mastiquées dans les parois. Quand la cathode est reliée au sol et la pression inférieure à 5 mm, l'électromètre dévie d'autant plus que la sonde est enfoncée plus avant : si c'est l'anode qui est au sol, la variation est moins accentuée. L'ensemble des expériences montre d'ailleurs qu'il ne faut pas attribuer trop d'importance aux indications de ces sondes.

Quand la pression dans le tube est voisine des pressions limites p_0 et p_1, on arrête la décharge en plongeant le tube dans l'eau, l'alcool ou l'essence de térébenthine : cet effet

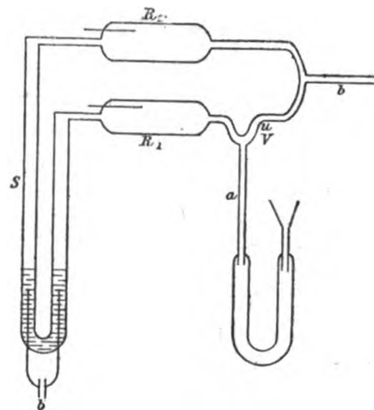


Fig. 3.

ne peut être attribué à une dérivation du courant dans le milieu extérieur, car le courant qui passe à l'extérieur du tube n'augmente pas en même temps que le courant intérieur.

La décharge passe beaucoup plus facilement quand une pointe, constamment électrisée par une machine de Holtz, est amenée en face du tube. On arrive ainsi à faire passer dans le tube la décharge d'une batterie de 700 éléments, à la pression ordinaire. On peut encore exciter la décharge dans un tube où la pression est un peu supérieure à la pression limite, en faisant jaillir l'étincelle d'une petite bobine de Ruhmkorff dans une direction parallèle ou perpendiculaire au tube.

En *déplaçant* au voisinage du tube un bâton de cire frotté, on provoque aussi la décharge, probablement parce qu'on décharge ainsi la surface du tube ; car on obtient le même résultat en promenant sur la surface du tube la

flamme d'un bec Bunsen ou en soufflant dessus. Au contraire, le bâton de cire est sans action si le tube à décharge est en cuivre et relié au sol.

Le partage des décharges entre le tube et une dérivation s'obtenait en reliant par un conducteur métallique, à travers un galvanomètre, deux électrodes parasites placées dans le tube.

Dans d'autres expériences, un certain nombre de bouteilles de Leyde étaient reliées en cascade par dérivation ; c'est à dire que les armatures extérieures étaient divisées en plusieurs segments isolés, dont chacun communiquait avec l'armature intérieure d'une autre bouteille ; le tout était placé sous le récipient d'une pompe à air. L'un des pôles de l'ensemble était relié à un des pôles d'une machine électrique, l'autre pôle à la terre. Aux pressions élevées, toutes les bouteilles se chargeaient ; mais quand la raréfaction de l'air était suffisante, la décharge passait directement de la bouteille reliée à la machine au fil qui communiquait avec le sol.

Il résulte des observations qu'il faut un certain temps pour que la décharge s'établisse après la fermeture du circuit, quand le tube ne possède aucune charge. Lorsque la décharge s'est arrêtée spontanément, le tube reste pendant quelques instants insensible à l'excitation par le bâton de cire. L'intensité du courant qui traverse le tube varie aussi avec le temps, même sans qu'il y ait d'interruption.

Les auteurs ont cherché à déterminer le temps qui s'écoule entre la fermeture du circuit et le commencement de la décharge, en établissant les contacts au moyen d'un métronome ou d'un chronographe, mais les résultats ont été très irréguliers.

M. L.

Expérience d'interférence avec les ondes électriques, par V. von Lang (¹).

Cette expérience d'interférence est analogue à l'expérience d'acoustique indiquée par Quincke. L'onde primitive est partagée en deux parties qui interfèrent après avoir parcouru des chemins inégalement longs.

La figure représente schématiquement la disposition de l'appareil. En A se trouve un excitateur construit sur le modèle de Righi : les boules B et B' sont reliées aux pôles d'une machine de Tœpler à 20 plateaux, mise en mouvement par un électromoteur. L'appareil d'interférence proprement dit est constitué par un système de tubes C E F H, en carton, ayant 59 mm de diamètre ; des boîtes de carton D et G servent à assembler ces tubes ; les tubes E et F sont en forme d'U et chacun peut être allongé jusqu'à une longueur de 200 mm. Le tube C, qui est aussi monté à coulisse, s'ouvre en face de l'excitateur et son extrémité peut être diaphragmée, pour rendre l'expérience plus nette ; des diaphragmes métalliques permettent de réduire le diamètre de l'ouverture jusqu'à 24 mm. Les ondes qui pénètrent dans le tube C, se partagent entre les tubes E et F, viennent se réunir dans le tube H et arrivent sur un « coherer » de Lodge. Ce coherer est un tube de verre, long de 170 mm, large de 22, rempli de petites vis à bois en fer, pesant chacune 0,1 gr environ. Ce tube est fermé par deux bouchons, auxquels sont fixées des bornes et qui sont assez pressés pour qu'un courant faible le traverse. Il se trouve à la même hauteur que les boules de l'excitateur et que les axes des tubes. Il est enfermé dans une caisse de bois ; toutes les pièces de l'appareil sont recouvertes de clinquant. Les bornes servent à relier le tube à un circuit comprenant une pile sèche et un galvanomètre, qui permet de mesurer la variation de la résistance du coherer sous l'action des ondes électriques qu'il reçoit.

Dans aucune expérience l'interférence entre les deux moitiés des ondes n'a été complète ; jamais l'effet sur le tube n'a été nul. Seulement, quand on fait varier la longueur de l'un des tubes en U, on observe des maxima et des minima qui sont bien marqués si on prend soin de régler convenablement la distance du tube D à l'excitateur et au dia-

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 430.

phragme, ainsi que le diamètre de celui-ci.

Les maxima doivent se reproduire quand on a tiré le tube E d'une longueur égale à 1/4 de longueur d'onde, ce qui augmente le chemin parcouru de $\frac{\lambda}{2}$; de même que les minima ; en fait, l'expérience ne montre que les allongements du tube entre deux minima consécutifs.

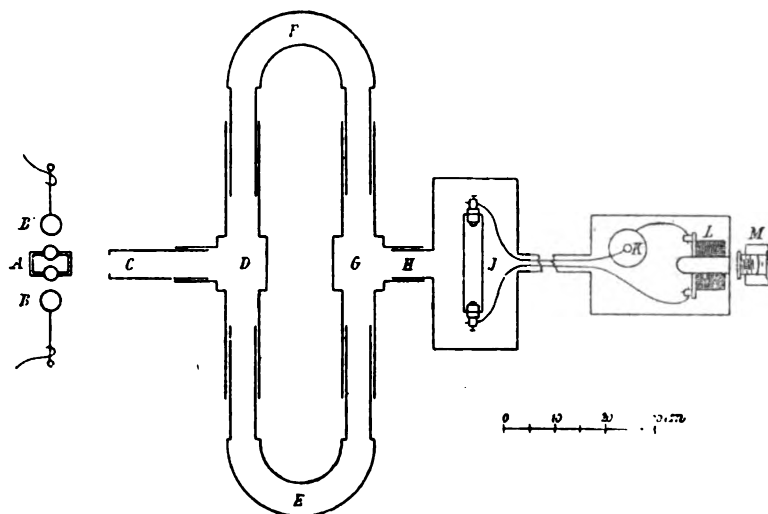


Fig. 1.

En remplissant partiellement le tube E avec des cylindres de substances diélectriques, on déplace évidemment les maxima et les minima ; et en mesurant ces déplacements, on pourra en déduire l'indice de réfraction des diélectriques. Des expériences de ce genre ont été effectuées sur la paraffine et le soufre en étudiant surtout les maxima qui sont plus nets.

Les résultats trouvés par M. von Lang diffèrent notablement de ceux qu'a donnés M. Righi. Les longueurs d'onde qu'il a mesurées ne paraissent pas d'accord avec celles qu'obtenait le physicien italien. Il trouve pour la paraffine $n = 1{,}648$, au lieu de $n = 1{,}43$ (Righi) et pour le soufre, $n = 2{,}333$ au lieu de $n = 1{,}87$.

Les nombres varient notablement d'ailleurs avec la longueur des cylindres employés.

Il est à remarquer que la disposition de l'appareil doit rendre les phénomènes très complexes et il est possible que les réflexions des ondes dans l'intérieur des tubes influent sur les résultats.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

The Electrical Transmission of Energy, a Manual for the design of Electrical circuits. (La transmission électrique de l'énergie, Manuel pour l'établissement des circuits électriques), par ARTHUR VAUGHAN ABBOTT, Ingénieur en chef de la Chicago Telephone Company. Un vol. in-8 de XIV-586 pages avec 289 fig. et 74 planches dans le texte et 9 planches hors texte, New-York, 1895. — *D. Van Nostrand Company*, éditeurs. Prix 4,50 dollars (22,50 fr.).

La transmission de l'énergie électrique dans ses applications à la télégraphie, à la téléphonie, à l'éclairage, à la traction, entraîne de nombreux et difficiles problèmes. Non seulement chaque branche d'applications nécessite des règles particulières, mais encore faut-il tenir compte des relations entre les différents circuits, tant pour leur installation que pour leur entretien. Le développement des réseaux d'éclairage et de tramways, dans ces dernières années, a conduit les administrations télégraphiques et téléphoniques à faire de nouvelles études et à modifier certains

points de leur construction ancienne. Les ingénieurs des téléphones ont dû étudier la distribution des forts courants pour mettre à l'abri de leurs perturbations les réseaux de leurs lignes. M. Abbott, ingénieur en chef de la Chicago Telephone Company a résumé dans le volume actuel les données qu'il a pu recueillir au cours de sa carrière et l'ouvrage qu'il a écrit est très remarquable.

Après avoir étudié dans un premier chapitre les propriétés générales des fils nus ou isolés aux points de vue électrique et mécanique, il aborde directement la construction des lignes aériennes télégraphiques et téléphoniques et de tramways. Cette partie de l'ouvrage contient un grand nombre de documents et de chiffres pratiques sur lesquels nous aurons à revenir d'ici peu. Un chapitre spécial est consacré aux parafoudres dont l'importance est si considérable pour les réseaux aériens.

Le chapitre IV est consacré aux réseaux souterrains; il est divisé en deux parties; la première traite des conduites elles-mêmes pour éclairage et pour tramways; la seconde des câbles isolés ou non qui doivent être employés dans ces conduites.

Les deux chapitres suivants sont consacrés aux appareils et méthodes de mesures employés par l'auteur ce qui lui permet de donner à cette partie essentiellement théorique une tournure pratique qu'il est rare de trouver dans des ouvrages de ce genre.

Le chapitre VII est consacré aux conducteurs pour courant continu; l'échauffement des conducteurs nus ou isolés, à l'air libre ou sous moulure est traité avec de longs développements qu'on trouverait difficilement dans un autre ouvrage. Dans le chapitre suivant, consacré aux conducteurs pour courants alternatifs les effets de l'induction et de la capacité prennent la place prépondérante.

Les systèmes de distribution en série, en dérivation et les systèmes de distribution indirecte par transformateurs, accumulateurs sont étudiés dans les chapitres IX, X et XI.

Enfin le dernier chapitre est consacré à l'étude du prix de revient de la production et de la distribution de l'énergie électrique.

Il nous est impossible, dans une courte analyse bibliographique de donner un compte-rendu complet des sujets traités et surtout de l'abondance de détails publiés sur chaque cas particulier. Les résultats de la pratique et de la théorie, traduits sous forme de tableaux et de courbes, se complètent mutuellement et le soin qu'a eu l'auteur de ne publier que les résultats qu'il pu vérifier lui-même contribuera à faire de cet ouvrage un véritable formulaire pratique à l'usage de tous les ingénieurs électriciens.

G. Pellissier.

CHRONIQUE

Allassac (Corrèze). — Éclairage. — On nous informe que la ville d'Allassac a inauguré l'éclairage électrique et la station centrale dont elle est aujourd'hui dotée, le 19 juillet dernier.

Nous donnerons quelques détails sommaires sur l'installation faite par M. Chaux, de Montignac.

L'usine génératrice est située à environ 3 kilomètres d'Allassac, au village du Saillant-Vieux, dans le fond d'une magnifique vallée où se trouve un moulin.

C'est ce moulin que M. Chaux a choisi comme centre de production de l'énergie électrique : à cet effet, il a fait installer, à la place de la vieille roue à augets qui actionnait autrefois le moulin, une turbine système Hercule de 115 chevaux. A cette turbine est accouplée directement par un joint Raffard une dynamo auto-excitatrice à courants alternatifs de 75 kilowatts pouvant débiter 25 ampères sous 3 000 volts.

Cet alternateur, monté en triangle, fournit des courants triphasés qui sont dirigés sur Allassac par une ligne à trois fils en bronze siliceux de 9,5 mm de diamètre.

Cette ligne aboutit à la halle de la ville, dans le grenier de laquelle un transformateur de 30 kw ramène la tension à 120 volts. Le courant est alors distribué aux appareils d'utilisation par un réseau à trois fils qui dessert toutes les rues de la ville et qui alimente actuellement 130 lampes réparties chez de nombreux habitants.

Tout le matériel électrique a été construit par la

Société alsacienne de Belfort, et le matériel mécanique et hydraulique par la maison Bonnet de Toulouse.

Bordeaux-Traction. — A propos de la transformation des tramways de Bordeaux, nous apprenons que cette question, depuis longtemps agitée (Voir *Écl. Élec.* t. VIII, p. 283. 8 août 1896), donne lieu d'espérer une solution prochaine.

Les nombreux projets déposés dans le courant des deux derniers mois viennent d'être soumis à l'examen d'une commission d'études constituée dans ce but par le Conseil Municipal de Bordeaux, qui aura en outre à s'occuper des questions suivantes :

Tramways électriques sur toutes les voies ferrées ;

Fixation du prix de transport des voyageurs à 10 centimes, sans correspondance ;

Départ des voitures toutes les 5 minutes sur les grandes lignes, et dédoublement des départs sur les autres lignes.

Exploitation par des lignes ferrées des voies suivantes : rue David Johnston, d'Aviau, d'Arès, de Bègles et route d'Espagne.

Établissement d'un tramway de ceinture sur toute la ligne des boulevards extérieurs.

Minimum de salaire, 5 fr. pour les ouvriers.

Maximum d'heures de travail, dix heures.

Un jour de repos par semaine.

Organisation d'une caisse de retraites alimentée par la Compagnie, avec versement à la Caisse nationale des retraites.

Dans le cas où la Société actuelle des tramways ne voudrait pas concourir pour la nouvelle concession, la Compagnie adjudicataire serait dans l'obligation de rembourser à la Compagnie T.O.B. les sommes prévues au cahier des charges et de racheter son matériel.

Enfin, comme complément, on projetterait de réunir les tramways électriques et l'éclairage de la ville, de façon à faire ce double service par la même usine, d'où pourraient résulter de grandes économies.

Ajoutons aussi qu'on rève de faire exécuter automatiquement le nettoyage et l'arrosage des grandes voies par l'électricité, au moyen de tramways balayeurs et arroseurs !

Mais tout cela n'est qu'un projet, et le rôle de la commission sera purement platonique, car le Conseil municipal et l'Administration se réservent le droit de décider en dernier ressort.

Châtillon-sur-Indre. — *Éclairage.* — Dernièrement à eu lieu à Châtillon-sur-Indre, la pose de la première pierre de l'usine électrique dont il a déjà été question (Voir *Écl. Élect.*, t. VI, p. 383, 22 février 1896). C'est en présence de M. Soubzmain, maire de la commune, de M. Marin, ingénieur de la Compagnie électrique et directeur des travaux d'installation, de M. Colin, entrepreneur de l'usine et conseiller municipal de Châtillon-sur-Indre, enfin d'un certain nombre de notabilités de la ville, qu'a été effectuée cette opération avec tout le cérémonial d'usage.

Durtal (Maine-et-Loire). — *Éclairage.* — Ce petit chef-lieu de canton de 3 000 habitants où sont installées les grandes papeteries Genest, sera bientôt doté de l'éclairage électrique.

Le Conseil municipal a adopté en principe, dans sa dernière séance, un projet qui lui était présenté. Nous croyons savoir que la puissance motrice serait prise au barrage d'Iguerelles, où une roue de 40 chevaux et une machine de secours sont sans emploi depuis près de dix ans.

La chute étant à 6 km de Durtal, il sera fait usage de courants polyphasés, alimentant un groupe de moteurs pendant la journée, et l'éclairage public et particulier depuis le coucher du soleil jusqu'à minuit.

Saïgon (Cochinchine française). - *Éclairage.* — En projet depuis quelque temps, l'éclairage électrique de Saïgon sera bientôt chose faite. La Société qui a obtenu le monopole adresse en ce moment une circulaire aux habitants afin de fixer par un recensement approximatif le nombre de lampes à éclairer.

Les rues et avenues principales seront munies de lampes à arc ; les édifices publics et les habitations useront des lampes à incandescence de 10, 16 et 32 bougies. La station centrale sera située à peu près au centre de distribution dans un vaste quadrilatère que s'est réservé la Société fermière, derrière le théâtre. Le matériel et l'appareillage seront de provenance française. M. Ferret, ingénieur à Saïgon, a été chargé de l'achat et de l'installation, aussitôt les devis et plans terminés.

Tence (Haute Loire). — *Éclairage* — Nous lisons dans l'*Écho du Velay* que l'éclairage électrique vient d'être inauguré dans la petite ville de Tence Rien n'a manqué à la fête, pas même un orage dont le concours inattendu a failli compromettre le succès de la journée. L'éclairage électrique, qui

avait été interrompu quelques intants, a repris aussitôt après, ainsi que le banquet d'usage présidé par le Sous-Préfet d'Yssingeaux. Le cortège officiel a parcouru les principales rues et a visité l'usine électrique décorée pour la circonstance.

Thonon (*Haute-Savoie*). — *Éclairage.* — La municipalité de Thonon vient d'adresser aux contribuables une circulaire, leur demandant de faire connaître, sans engagement de leur part, à combien de lampes électriques ils seraient disposés à souscrire si on leur fournissait au prix de : lamces à forfait, de dix bougies, 35 francs par an ; de 16 bougies, 45 fr.; lampes au compteur de 10 bougies, 3 centimes l'heure, de 16 bougies, 4 centimes.

Ces prix sont ceux qui figurent dans le traité de la ville d'Evian avec M. Perrin ; ils leur sont même un peu inférieurs pour les lampes au compteur (3 centimes au lieu de 3 et quart ; 4 centimes au lieu de 4 et quart).

Toulouse.— *Éclairage.* — La municipalité de Toulouse, voulant remédier à l'imperfection de l'éclairage électrique dans la salle du Grand-Théâtre, vient de s'entendre avec la Compagnie d'éclairage et fait procéder en ce moment au changement de tous les fils électriques.

Uriage (*Isère*). — *Transport de force.* — On nous informe que la station thermale d'Uriage sera prochainement éclairée à l'électricité. C'est M. le comte de Saint-Ferréol, propriétaire du magnifique château dominant l'établissement thermal, qui a pris l'initiative de ce progrès.

On a capté les eaux d'un affluent de l'Isère, le Doménon, a 6 km d'Uriage, au lieu dit le « Martinet ». Deux turbines à injection partielle, système Bouvier, d'une puissance de 175 chevaux chacune, actionnent deux dynamos Thury à courant continu fonctionnant en série à la tension de 3 200 volts. Le courant sera utilisé à Uriage par deux réceptrices du même type, actionnant deux dynamos multipolaires Postel-Vinay. La distribution secondaire sera faite à Uriage et Saint-Martin-d'Uriage à l'aide de 3 feeders à 110 volts.

La petite usine receptrice, bâtie sur le flanc de la colline qui porte le château, contiendra une puissante batterie d'accumulateurs servant à régulariser la dépense des différents feeders ; un de ceux-ci, celui qui alimentera Saint-Martin, possèdera un survolteur,

Il va sans dire, que le château et ses dépendances seront brillamment illuminés. L'inauguration aura lieu pour la prochaine saison.

Vence (*Alpes-Maritimes*). — *Transport de force et éclairage.* — Le projet d'installation d'une station centrale qui avait été adopté au mois de mai dernier par la municipalité de Vence (Voir *Éclair. Élect.*, t. VII p. 333, 16 mai 1896) est revenu à la mairie revêtu de toutes les approbations et signatures nécessaires à sa mise en exécution.

Les travaux d'installation vont commencer incessamment et on estime que dans six mois la population vençoise pourra jouir des avantages de l'éclairage électrique et transport d'énergie à domicile grâce à l'activité qu'a su déployer son conseil municipal pour mener la réalisation du projet à bonne fin.

COURS ET CONFÉRENCES DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Les cours s'ouvriront le lundi 9 novembre

Calcul des probabilités et physique mathématique — Les lundis et jeudis, à dix heures et demie. M. H. Poincaré, professeur, ouvrira ce cours le lundi 9 novembre. Il traitera de l'électrodynamique.

Mécanique physique et expérimentale. — Les mardis et samedis, à huit heures trois quarts. M. Boussinesq, professeur, ouvrira la première partie de ce cours le mardi 10 novembre. Il étudiera le frottement intérieur des fluides, avec application, d'une part, aux phénomènes d'écoulement bien connus (mouvements dans les tubes fins, filtration, transpiration, diffusion) ; d'autre part, à l'extinction graduelle des ondes soit sonores, soit liquides.

Physique. — Les mardis et samedis, à une heure et demie. M. Bouty, professeur, ouvrira ce cours le mardi 10 novembre. Il traitera de l'électricité (électro-chimie non comprise). Des manipulations et des conférences ; qui seront dirigées pendant toute l'année par le professeur, commenceront dans la seconde quinzaine de novembre.

Chimie générale. — Les lundis et jeudis, à une heure. M. Troost, professeur, ouvrira ce cours le lundi 9 novembre. Il exposera les lois générales de la chimie et les principes de la thermochimie ; il fera l'histoire des métalloïdes et de leurs principales combinaisons. Des manipulations, qui sont dirigées pendant toute l'année par le professeur, commenceront dans la seconde quinzaine de novembre.

Chimie minérale. — Les mercredis et vendredis à deux heures. M. Ditte, professeur, ouvrira ce

cours le mercredi 11 novembre. Il traitera des métaux et de leurs combinaisons principales.

COURS ANNEXES

Cinématique. — Les mercredis, à une heure et demie. M. G. Kœnigs, professeur adjoint, chargé du cours, ouvrira ce cours le mercredi 11 novembre. Il traitera de la cinématique du corps solide. — Mécanismes.

Physique générale.— Les jeudis, à quatre heures' M. Pellat, professeur adjoint, chargé du cours, ouvrira ce cours le jeudi 12 novembre. Il traitera de la thermodynamique.

Chimie physique. — Les mercredis, a neuf heures, et les samedis, à neuf heures et demie. M. Robin, chargé du cours, ouvrira ce cours le mercredi 11 décembre. Il traitera de la statique chimique et ensuite de l'électro-chimie.

Chimie analytique. — Les lundis à trois heures. M. Riban, maître de conférences, chargé du cours, ouvrira ce cours le lundi 9 novembre. Il terminera l'étude du dosage et de la séparation des métaux et traitera des applications de l'électrolyse à l'analyse chimique.

CONFÉRENCES

Les conférences annuelles commenceront le lundi 16 novembre. Les étudiants n'y sont admis qu'après s'être inscrits au secrétariat de la faculté et sur la présentation de leur carte d'entrée.

Sciences physiques. — M. Leduc, maître de conférences, fera, les mercredis et vendredis, à quatre heures, des interrogations aux candidats au certificat de physique générale, sur les matières du cours de physique. Il traitera, en outre, les questions indiquées par le professeur. Il fera, les jeudis à dix heures un quart, une leçon aux candidats à l'agrégation sur les questions indiquées au programme de ce concours. — Les manipulations auront lieu les lundis, mercredis, jeudis et vendredis, de neuf heures à onze heures.

M. Pellat, professeur adjoint, fera une conférence de physique, les lundis, à quatre heures. — Les conférences d'agrégation auront lieu les jeudis et les vendredis, à huit heures et demie.

M. Joly, professeur adjoint exposera les principes de la notation atomique ; il étudiera ensuite quelques questions de chimie générale et les métaux (1re partie du cours), les mardis et samedis, à dix heures et demie. — Les conférences d'agrégation auront lieu les lundis et jeudis, à cinq heures.

M. Riban, maître de conférences, fera une conférence d'analyse qualitative, les vendredis, à onze heures. Le laboratoire est ouvert tous les jours de neuf heures à midi et de une heure à cinq heures pour les élèves qui désirent se livrer à des travaux de chimie générale ou de chimie analytique ou à des recherches personnelles sur les diverses parties de la chimie. — Manipulations pour le certificat de chimie générale. les lundis, mercredis, jeudis et vendredis, à neuf heures. — Manipulations les vendredis, de une heure à cinq heures, pour les candidats à l'agrégation ; les jeudis de une heure à cinq heures, pour les professeurs de collèges.

ENSEIGNEMENT PRÉPARATOIRE AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PRIMAIRES CHIMIQUES ET NATURELLES

rue Rataud, nº 1

Physique. — 1re section. — M. Paul Janet, professeur de faculté, chargé du cours, ouvrira ce cours le mercredi 11 novembre. Il traitera les lundis, mercredis et vendredis, à neuf heures : principes de mécanique, chaleur, électricité, magnétisme, électro-magnétisme.

2e section. — M. Lucien Poincaré, chargé du cours, ouvrira ce cours le mardi 10 novembre. Il traitera les mardis, jeudis, samedis, à neuf heures : principes de mécanique, chaleur, électricité, magnétisme, électro-magnétisme.

M. Krouchkoll, chef des travaux pratiques, dirigera les manipulations de physique les lundis, mardis, vendredis et samedis, de une heure et demie à quatre heures et demie.

DIVERS

Curieux effets des rayons X sur le corps humain — S'il faut en croire un de nos confrères d'Amérique, les effets curieux des rayons Roentgen n'ont pas encore dit leur dernier mot. *L'Electrical Review* de New-York, relate dans son numéro du 12 août 1896, un fait des plus surprenants.

M. H. D. Hawks, du Columbia Collège de New-York, donnait depuis quelques semaines des représentations radiographiques, avec un appareil de dimension et puissance peu ordinaires. Les séances duraient de deux à trois heures pendant lesquelles l'appareil ne cessait de fonctionner.

A la fin de la deuxième séance, M. Hawks commença à éprouver un affaiblissement notable des

forces physiques et à la quatrième séance, il dut cesser tout travail. Les premiers effets que M. Hawks remarqua furent un dessèchement de l'épiderme auquel il ne prit garde tout d'abord, mais bientôt ce dessèchement prit sur la figure et les mains de l'opérateur l'apparence d'un fort coup de soleil ; les mains, surtout aux joints des phalanges, étaient les plus éprouvées. Il observa ensuite des faits non moins curieux : arrêt de croissance des ongles des mains ; chute des poils des parties de la peau exposées aux rayons X ; chute des cheveux sur les tempes, l'opérateur s'étant placé dans une position permettant aux spectateurs de distinguer les joints de sa mâchoire ; les yeux furent également affectés, s'injectèrent de sang à tel point que la vue s'affaiblit ; les cils, eux aussi ne tardèrent pas à tomber et les paupières à enfler ; la poitrine de l'opérateur portait également les marques d'un coup de soleil. Enfin, M. Hawks dut abandonner ses expériences et recourir à l'art médical. Il ne se découragea pas toutefois ; à peine remis, il chercha à se préserver de l'action pernicieuse émise dans le tube de Crookes. Dans ce but, il s'enduisit les mains de vaseline et prit des gants; peine perdue, les mêmes effets se manifestaient à travers ces derniers ; il trouva enfin une protection suffisante en employant une feuille de clinquant en fer-blanc.

M. Hawks croît, comme M. Tesla, que ces effets sont dûs à des particules infiniment petites provenant des parois du tube et entraînées par les rayons X. La bobine qu'il employait, pouvant donner une étincelle de 25 cm de long, avait un interrupteur rotatif monté sur l'axe d'un petit moteur électrique et produisant 120 interruptions par secondes. Le tube était du type focus.

Sans toutefois mettre en doute la véracité des effets surprenants dont M. Hawks vient d'être victime, nous laissons à nos lecteurs, amateurs de radiographie, le soin de tenter l'essai.

Le commerce du caoutchouc. — Le prix du caoutchouc semble se maintenir à un taux moyen malgré sa grande consommation. On cote le Para fin, 10 fr à 10,50 fr, mi-fin 9,50 fr à 9,75 fr, Cernamby, 5 à 6 fr, les autres sortes variant de 2,50 fr à 6 fr ; des gommes de certaines provenances ont atteint des prix remarquables pour de fort belles parties, il est vrai. Les transactions ont, enfin, été très actives surtout sur les lots d'une certaine importance qui intéressent particulièrement la spéculation qui est pour beaucoup dans ce mouvement. Néanmoins, il existe une autre cause qui a son importance et qui mérite d'être examinée très sérieusement par les intéressés ; l'on dit avec raison, croyons-nous, que le caoutchouc dans certaines parties de l'Afrique est appelé à disparaître dans un temps plus ou moins long à cause de la façon barbare dont la récolte est faite. On détruit les arbres peu à peu et on constaterait même déjà, paraît-il, une diminution dans les expéditions. Madagascar a fait des envois un peu plus importants mais surtout dirigés sur les marchés étrangers. Nous croyons pourtant que nos marchés français sont aussi bien placés sinon mieux. En tous cas, les frais y sont moins considérables et cela rentre certainement en compte dans les résultats obtenus.

Four électrique à fusion continue. — D'après la *Revue de Chimie industrielle*, M. H. Vincent de Philadelphie aurait trouvé un four électrique à fusion continue s'appliquant au minerai de fer. A la partie inférieure d'un canal horizontal se trouvent plusieurs blocs de charbon fixes formant l'une des électrodes ; à la partie opposée, dans une ouverture verticale, est installée l'autre électrode consistant en un bloc rectangulaire de charbon maintenu dans une armature verticale qu'on lève ou qu'on abaisse au moyen d'un treuil. Au fur et à mesure de la consommation de ce charbon, il est baissé de façon à maintenir les électrodes à une même distance et on arrive à la régularisation par l'intermédiaire d'un solénoïde. Le bon fonctionnement exige entre autres choses la fermeture hermétique de l'armature verticale pour éviter que, par introduction d'une forte quantité d'air ; le charbon des électrodes ne se consomme trop rapidement.

Le minerai ou la matière à traiter est pulvérisé finement et introduit dans un entonnoir à trémie placé latéralement ; une vis d'alimentation le pousse à travers le canal avec les électrodes. La transformation effectuée, les matières non fondues, amenées par le haut, poussent la partie fondue dans une fosse, où elle est maintenue à une haute température jusqu'à enlèvement. Ce four convient parfaitement, paraît-il, pour la fabrication du carbure de calcium.

Éclairage électrique périncandescent. — Déjà il y a quelque temps, en Amérique, on avait fait des essais pour utiliser dans les lampes électriques

ordinaires à incandescence, le pouvoir remarquable de rayonnement que possède les oxydes des terres d'ythria et tout récemment M. Wasiss Baliasnyg, un ingénieur russe, semble bien avoir résolu ce problème

Une série de bandes découpées dans du carton d'amiante non collé, de 3 mm d'épaisseur, constitue l'âme de son corps incandescent ; ce carton est d'abord placé dans une dissolution à 30 pour 100 de chlorure de platine, puis passé dans un bain saturé de chlorhydrate d'ammoniaque. Après avoir été séché dans un courant d'air à + 60°, il est ensuite soumis à une calcination qui permet d'obtenir de l'amiante platinée.

Cette amiante est plongée alors dans une solution saturée de chlorure de magnésium, puis séchée et calcinée.

Ces deux opérations de platinage et de magnésiage, sont répétées à diverses reprises, de façon à obtenir une couche de 1 1/2 à 2 mm de magnésie et de platine. Le corps ainsi obtenu est très résistant et bon conducteur ; de plus, la couche de magnésie protège de très complète façon le platine et empêche toute transformation.

Après ces préparations, le filament est plongé dans une dissolution de nitrate de thorium, de cérium et de zircone qui lui communique, après calcination subséquente, les mêmes qualités que celles du manchon Auer.

L'on place ensuite ce filament dans une ampoule vide ou dans une ampoule remplie d'azote; les jonctions pour le contact électrique sont faites avec du fil de platine. La surface de ce filament est plus grande que la surface du filament ordinaire et avec une dépense identique en courant, la lampe Baliasnyg donne, à ce qu'on dit, quinze fois plus de lumière que la lampe à incandescence électrique ordinaire.

M. Wasis Baliasnyg a obtenu, paraît-il, dans des essais à Poltawa, des résultats remarquables.

L'exposition internationale de Turin en 1896. — Une Exposition générale italienne de tous les produits industriels, des arts et des sciences aura lieu à Turin en avril-octobre 1898, dans le but de célébrer d'une manière solennelle le cinquantième anniversaire de la proclamation du *statuto* (charte constitutionnelle du royaume d'Italie).

Voici le programme de la section spéciale de l'électricité qui a été par exception déclarée internationale et sera ouverte aux exposants de tous les pays qui pourront y concourir dans les classes suivantes :

I. Matériel d'enseignement.
II. Canalisations.
III. Instruments de mesures électriques et magnétiques.
IV. Télégraphes et téléphones.
V. Transmissions de signaux et appareils de sûreté pour les chemins de fer. Éclairage et chauffage des voitures.
VI. Dynamos et moteurs électriques.
VII. Applications mécaniques. Traction électrique.
VIII. Eclairage électrique.
IX. Électrochimie et électrométallurgie.
X. Applications diverses.
XI. Exposition historique.

Le comité exécutif et la Commission spéciale en s'adressant aux industriels de tous les pays ont l'espoir de réunir à Turin en 1898 les spécimens des produits les plus importants des usines nationales et étrangères, ainsi que les inventions les plus récentes qui ont trait à l'électricité.

Le Comité et la Commission se sont proposé de donner à cette exposition ce cachet d'universalité qui seule peut amener à des comparaisons fructueuses, à des progrès scientifiques et industriels.

Le souvenir de l'Exposition de Turin de 1884 doit être de bon augure puisqu'elle a été la première à mettre en évidence la portée des transformateurs, et à appeler l'attention des électriciens sur l'importance des distributions indirectes par courants alternatifs, qui jouent un grand rôle dans la science électrotechnique moderne.

Les électriciens des différentes nations trouveront en Italie, où les forces hydrauliques abondent et où les entreprises industrielles font de grands progrès, un champ tout préparé pour l'application de leurs produits et de leurs inventions.

Chercheur magnétique d'ondes électriques. — Dans une communication récemment faite à la Royal Society ayant pour titre : Chercheur magnétique d'ondes électriques et quelques-unes de ses applications, M. Rutherford, en recherchant les effets produits par les décharges d'une bouteille de Leyde sur les parties magnétisées des aiguilles d'acier, démontre que la démagnétisation qui en résulte offre un moyen simple et convenable de comparer des courants ayant un très grand nombre d'alternances. La démagnétisation par-

tielle de fils d'acier de faible diamètre placés à l'intérieur d'un petit solénoïde, a donné un moyen très sensible pour découvrir les ondes électriques à de très grandes distances de l'excitateur. Cet appareil, quand il est constitué d'un fil d'acier très fin, peut être employé aussi à la recherche des ondes électriques le long d'un conducteur et des vibrations dans les circuits de faibles longueurs d'ondes. Sa sensibilité égale celle du bolomètre pour la mise en évidence des oscillations électriques dans un conducteur. Il aurait également la propriété de distinguer la première et seconde moitié des oscillations d'une décharge et enfin de déterminer l'amortissement des vibrations électriques dans un circuit de décharge.

Le téléphone en Russie. — Il vient d'être décidé que la ligne téléphonique qui avait été établie entre Saint-Pétersbourg et Moscou à l'occasion des fêtes du couronnement du tsar serait conservée et mise au service du public pour les communications téléphoniques entre les deux villes. Le *Saint Peterburger Zeitung* relate, au sujet du développement du téléphone en Russie, que l'introduction des échanges de communications par voie téléphonique date de 1882, époque à laquelle des concessions furent accordées à différentes compagnies pour l'établissement des réseaux téléphoniques de Saint-Pétersbourg, Moscou, Varsovie, Odessa et Riga. Les années suivantes d'autres concessions furent accordées à des compagnies ou à des entrepreneurs privés, et en 1884, la première installation fut faite par l'État à Kieff, ville possédant depuis quelque temps déjà plusieurs communications téléphoniques privées avec plusieurs palais de Saint-Pétersbourg.

Le développement devint alors très rapide et en 1895, quarante autres villes étaient pourvues de réseaux téléphoniques, si bien qu'à l'heure actuelle les principales villes de l'empire russe possèdent des moyens très étendus de communications par voie téléphonique. Pour le nombre d'abonnés, Saint-Pétersbourg tient la tête avec 2 230, nombre relevé en juillet 1895 ; mais comme ce nombre n'était, pour l'année précédente, que de 1 977, il est bien permis de croire qu'à l'heure actuelle, il est augmenté dans des proportions considérables. A Bakou et Nidji-Novgorod, le nombre des abonnés était de 502 et 307 ; Berdiansk vient en fin de liste avec 30 abonnés seulement.

Le nombre total des abonnés compris dans l'empire de Russie était pour l'année 1895, de 9007 aux bureaux des Compagnies et 6 111 à ceux de l'Etat. Si on les compare aux chiffres correspondants, 8 004 et 3 950 de l'année précédente, on doit conclure que le nombre des abonnés sera beaucoup élevé pour l'année 1896.

Les lignes interurbaines sont, par contre, encore très peu répandues, probablement à cause des distances souvent considérables qui séparent les villes par suite de l'étendue du territoire russe. On cite comme les plus importantes celles qui relient Rostoff à Tangarok et Dessa à Nicolaïeff.

La mort de sir William Grove. — Les journaux anglais annoncent la mort de sir William Robert Grove, avocat très distingué de la Haute Cour de Londres et en même temps physicien

Né à Swansea (Pays de Galle) en 1811, il fit ses études à l'école d'Oxford d'où il sortit avocat. En 1835, abandonnant, pour des raisons de santé, la chaire qu'il occupait au barreau de Lincoln's Jnn il s'adonna entièrement aux sciences physiques. C'est à cette époque qu'il inventa la pile bien connue qui porte son nom et une pile au gaz.

La physique est redevable à ce savant d'importants travaux, parmi lesquels « La corrélation des forces physiques » qui est une suite développée d'un ouvrage « Progrès de la science physique depuis la création de l'Institution de Londres ».

Les œuvres de ce savant ont été très appréciées et traduites en différentes langues.

Sir William Grove était membre de la Royal Society et de plusieurs Académies étrangères.

Pont tournant électrique. — Le nouveau pont tournant construit sur la Connecticut River pour relier Middltown à Portland, Conn (Amérique) est entièrement mû par l'électricité. Son équipement électrique se compose de 4 moteurs électriques de 800 chx, dont 2 pour le mouvement élévatoire et 1 pour celui de rotation, le quatrième sert de réserve. Ce pont d'une seule portée a 135 mètres de longueur et tourne autour d'un seul pivot central. Avant l'installation des moteurs sa manœuvre exigeait 23 hommes.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie EM. MAUCHAUSSAT, 32, Boul. Vaugirard

Tome VIII — Samedi 12 Septembre 1896 — 3e Année. — N° 37

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA STATION CENTRALE ÉLECTRIQUE DE ZURICH

Si Berne, siège des autorités fédérales, est considérée au point de vue politique comme la capitale de la confédération helvétique, Zürich est sans contredit la ville la plus importante de Suisse. Sa population, qui s'est accrue très rapidement dans ces 10 dernières années, s'élève actuellement à 130 000 habitants, et n'est atteinte par aucune autre ville de la Confédération, pas même par Genève qui ne vient qu'en seconde ligne avec 90 000 habitants. Zürich doit sa prospérité à sa situation agréable à l'entrée du lac de Zürich, à son établissement universitaire renommé, et surtout au développement considérable qu'y a pris l'industrie en général et plus spécialement l'industrie mécanique et électrique. Pour en donner une idée il nous suffit de dire qu'au nord-ouest de la ville, sur la rive gauche de la Limmat (voir plan de la figure 1) existe une agglomération de création récente, composée uniquement d'usines et qui a reçu le nom de « Quartier de l'Industrie ». Nous pouvons citer également comme un faubourg de Zürich, plutôt que comme une localité indépendante, la petite ville d'Œrlikon, distante de 5 km, dont la « Maschinen fabrik » occupe 1 200 ouvriers, habitant Zürich pour la plupart.

Dans une ville aussi populeuse, qui possède de larges et belles voies, des quais très fréquentés, des magasins et des hôtels luxueux, l'électricité devrait forcément prendre une place importante.

En 1891, la municipalité de Zürich qui possédait déjà le service des tramways ainsi que les distributions d'eau et de gaz de la ville, décida la création d'un service de distribution d'énergie électrique. En outre, 3 lignes de tramways électriques à trôlet aérien, installées par une société privée, circulent depuis le printemps de 1894, sur la rive droite de la Limmat, dans les grandes voies percées sur la colline qui domine la « Vieille ville ». C'est l'usine municipale électrique que nous allons décrire grâce aux renseignements qui nous ont été obligeamment fournis sur place, au commencement de l'année, par MM. Wagner, directeur, et Büchler, ingénieur des services électriques de la Ville.

La station centrale génératrice a été installée dans l'usine municipale de distribution d'eau, située à 1 500 mètres au nord-est de la ville sur la rive droite de la Limmat dans le quartier de « Letten », à l'emplacement marqué A sur le plan (fig. 1). C'est un grand bâtiment composé d'une salle unique de 125 mètres de long sur 20 mètres de large, à laquelle est adossée une petite construction carrée contenant des chaudières de réserve. L'installation électrique et l'installation hydraulique sont réunies dans la même salle et les transmissions principales de ces deux installations peuvent être accouplées bout à bout, de sorte que la salle des machines est traversée sur toute sa longueur par un arbre de 100 mètres de long.

La partie hydraulique de l'usine, qui occupe une longueur de 65 m, comprend une rangée de 8 pompes doubles servant au remplissage de 3 réservoirs situés sur des collines voisines et destinés à la distribution générale de l'eau dans la ville de Zürich. Ces 3 réservoirs, installés à des distances variant entre 2 000 et 2 500 mètres, sont dits de haute, moyenne et basse pression parce que leur altitude est respectivement de 144 mètres, 85 mètres et 40 mètres. Les 2 derniers seuls sont visibles en D et E sur le plan de la fig. 1.

L'eau arrivant du lac est refoulée dans ces 3 réservoirs après passage au travers d'un filtre de sable. Les pompes sont employées également pour envoyer de l'eau, puisée directement dans la Limmat au pied de l'usine, dans un quatrième réservoir situé à 2 000 mètres de distance et à 155 mètres de hauteur. Ce réservoir dit « de force motrice » sert à l'alimentation de petites turbines situées dans quelques ateliers du quartier de l'Industrie. Il fournit également l'eau nécessaire aux turbines à haute pression installées dans l'usine électrique de Letten.

Ces turbines à haute pression sont utilisées surtout pour régulariser l'ensemble des transmissions de l'usine de Letten, lorsque les pompes et les dynamos fonctionnent ensemble ; elles ne fournissent à elles seules la force motrice que lorsque la charge totale de l'usine est très faible. La majeure partie de la force motrice est produite en par 10 turbines Jonval à basse pression faisant partie de l'ancienne usine élévatoire et pouvant développer chacune une puissance de 125 à 150 chevaux. Ces turbines sont alimentées par de l'eau à la pression de 2,5 à 3,5 mètres de hauteur, amenée par un canal de 700 mètres de longueur, et provenant d'une dérivation avec barrage établie en amont sur le cours de la Limmat. Le débit de ce canal latéral change suivant la saison ; il peut fournir une puissance totale variant entre 600 et 1 500 chevaux.

Les 10 turbines à basse pression A_1 A_2 etc. (fig. 2) sont rangées sur une même ligne suivant l'axe longitudinal de l'usine et donnent le mouvement par des trains de roues dentées B_1 b_1, B_2 b_2 etc. à l'arbre principal MNN de l'usine hydraulique, tournant à 75 tours par minute et commandant les 8 pompes élévatoires.

La puissance développée par les turbines à basse pression est insuffisante pour assurer la marche des pompes lorsqu'elle descend à 600 chevaux, ce qui se produit pendant environ 2 mois de l'année, les mois de janvier et de février. La force motrice complémentaire est alors fournie par les chaudières et moteurs à vapeur.

Les chaudières tubulaires, au nombre de 3, placées dans un petit bâtiment spécial, ont chacune 100 m² de surface de chauffe et produisent de la vapeur à la pression de 8 kg. pour l'alimentation de 2 moteurs de 300 chevaux. On allume une ou deux chaudières suivant que l'on fait marcher un ou deux moteurs, la troisième chaudière sert de réserve.

Les machines à vapeur C_1 C_2, horizontales, à 2 cylindres compound, fonctionne avec condensation et tournent à la vitesse angulaire de 75 tours par minute. Elles sont placées à l'extrémité et en arrière de l'arbre principal N N de l'usine hydraulique qu'elles actionnent au moyen de roues dentées à embrayage D_1 d_1 et D_2 d_2.

Lorque les circonstances permettent d'employer une force motrice hydraulique pour faire mouvoir en même temps deux installations différentes, pendant le jour des pompes élévatoires, par exemple, et dans la soirée des machines électriques, la combinaison est avantageuse parce qu'on réalise forcément des économies sur l'amortissement du matériel et le coût de la force motrice. Mais, pour bien faire, l'installation de jour et l'installation de nuit doivent être prévues et établies en même temps. Si l'on veut utiliser après coup une force motrice pour un usage autre que celui auquel elle était destinée primitivement, on est conduit surtout s'il s'agit de turbines, à des dispositions gênantes et

compliquées qui rendent le service d'exploitation difficile et diminuent en outre légèrement les économies d'amortissement. Nous en aurons un exemple frappant en examinant les transformations successives qu'il a fallu apporter à l'installation des machines à l'usine d'électricité de Zürich.

Au moment de la création de l'usine électrique, c'est à dire à la fin de 1891, on a commencé par installer deux alternateurs de 300 chevaux chacun et deux dynamos à courant continu pouvant chacune développer 30 chevaux et suffire à l'excitation de 4 alternateurs. Ces machines ont été disposées de

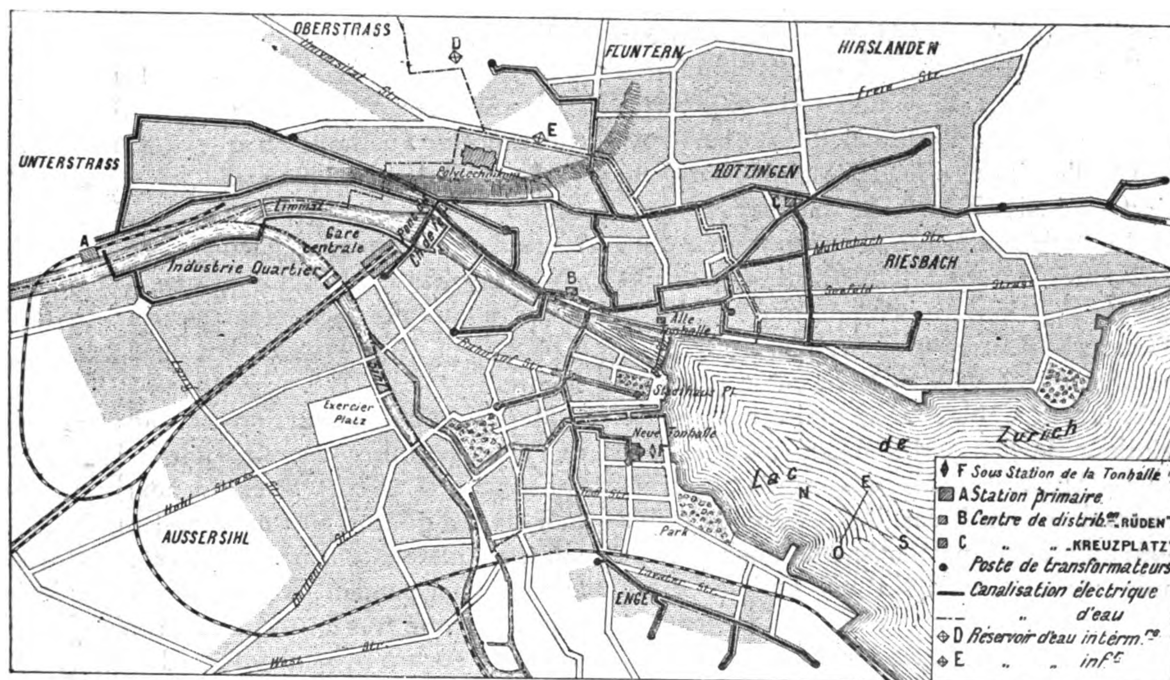


Fig. 1 — Plan des canalisations de la ville de Zurich.

façon à être actionnées toutes par la transmission générale NN (fig. 2) de l'usine hydraulique, c'est à dire par les turbines à basse pression A, aidées au besoin des machines à vapeur C. A cet effet, les 2 alternateurs $L_1 L_2$ ont été montés sur un arbre longitudinal E_F faisant 200 tours par minute, et les 2 excitatrices $J_1 J_2$ sur un arbre parallèle GH situé en arrière et tournant à 400 tours par minute. L'arbre des alternateurs EF et l'arbre des excitatrices GH reçoivent par des pignons dentés $I_1 I_2$ le mouvement d'une roue dentée I_3 calée sur l'arbre général de transmission MM de l'usine électrique. Cet arbre MM est placé dans le prolongement de l'arbre NN de l'usine hydraulique auquel il est réuni par un manchon α. Une turbine à haute pression, d'une puissance de 300 chevaux, tournant à 200 tours par minute et alimentée par l'eau provenant du réservoir « de force motrice », est montée à l'extrémité de l'arbre EF des alternateurs, afin d'en régulariser la vitesse lorsque la transmission principale MM NN fait mouvoir, en même temps que les machines électriques, les pompes élévatoires dont la charge est très irrégulière.

L'installation électrique, telle que nous venons de la décrire, a été terminée à l'automne 1892. Voici comment elle fonctionnait: Pendant la majeure partie de l'année, les machines à vapeur D, D, restaient au repos. Pendant le jour un seul alternateur L_1 était couplé au moyen de l'embrayage K_1 sur l'arbre EF; la turbine à haute pression était égale-

ment couplée par l'embrayage f_1 sur cet arbre EF. Une excitatrice J_1 et une turbine à à haute pression R_1 étaient embrayés, par les leviers m_1 et l_1, sur l'arbre G H. Pendant cette période, les turbines à basse pression A faisaient mouvoir en même temps, par NN les pompes élévatoires travaillant à leur maximum et absorbant peut être 800 chevaux, par l'arbre MM et les roues dentées I_3 I_1 l'alternateur de jour J_1 marchant à faible charge et ne prenant même pas 200 chevaux, et enfin, par l'arbre M et les roues dentées I_2 I_2, l'excitatrice J ne demandant qu'une puissance insignifiante, de 10 chevaux environ. La turbine à haute pression munie d'un régulateur automatique, ayant une puissance de 300 chevaux assurait une régularité suffisante à l'alternateur L_1 et à l'excitatrice J_1, à condition que les turbines à basse pression A_1 A_2 fussent réglées à la main suivant les variations de charge des pressions. Ce dernier réglage demandait une grande attention du personnel, car il devait être beaucoup plus précis qu'avant l'installation de l'usine électrique. En effet, lorsqu'il n'y avait à Letten que des pompes d'élévation d'eau on pouvait admettre sans inconvénient des variations même assez fortes dans la vitesse de la transmission, tandis que depuis l'installation des dynamos, si le réglage des turbines à basse pression n'était pas très soigné, les irrégularités des pompes, travaillant à pleine charge et absorbant 800 chevaux l'emportaient de beaucoup sur le réglage de la turbine à haute pression de 300 chevaux et entraînaient des variations notables de vitesse sur l'arbre principal MM et par suite sur l'alternateur en marche L_1. Le réglage propre de la tension de l'alternateur était par ce fait rendu difficile, d'autant plus que l'excitatrice J_1 était soumise à des variations de vitesse et par suite de tension de même sens que celles de l'alternateur.

Le soir le réglage de l'installation était beaucoup plus facile. Il n'était rien changé sur l'arbre G H de l'excitatrice ; mais le second alternateur L_2 était embrayé sur l'arbre E F. A ce moment les 2 alternateurs travaillaient avec leur charge maxima, 500 chevaux environ; mais, par contre, les pompes de l'usine hydraulique n'absorbant alors que 100 chevaux environ on pouvait laisser sans réglage les turbines à basse pression et obtenir une régularité suffisante par le réglage automatique de la turbine à haute pression de 300 chevaux.

La consommation de courant s'étant accrue très vite, les 2 alternateurs sont devenus insuffisants dès 1893. On a alors doublé la puissance de l'usine électrique en prolongeant l'arbre EF des alternateurs L et en y montant à l'automne 1893, 2 nouveaux alternateurs de 300 chevaux chacun L_3 et L_4 munis d'embrayages k_3 et k_4. Le groupe des excitatrices a pu très facilement assurer ce surcroît de travail sans avoir besoin d'être augmenté.

Mais si la consommation du soir avait pris de l'extension, la consommation de jour avait conservé une valeur très faible, inférieure à la puissance d'un seul alternateur. Il aurait donc fallu, si l'installation n'avait pas été modifiée, faire tourner pendant la plus grande partie de la journée une très lourde transmission, composée de l'arbre principal M et de l'arbre des alternateurs E F devenu très long, dans le but de faire marcher à faible charge un seul des 4 alternateurs. Il en serait résulté une perte considérable dans la transmission, perte qui jointe au mauvais rendement de la dynamo travaillant à faible charge, aurait abaissé notablement le rendement commercial de l'installation. Afin d'atténuer le plus possible ces inconvénients, on a installé en juin 1893, un petit alternateur spécial, d'une puissance de 100 chevaux seulement, destiné à la marche de jour et pouvant être actionné directement par la transmission générale. Cet alternateur T, qui tourne à la vitesse angulaire de 333 tours par minute, était placé dans le fond de la salle, à peu de distance des machines à vapeur C et recevait son mouvement de l'arbre principal MM de l'usine au moyen d'une poulie q. La commande par courroie n'a été employée que parce que les dispositions par-

ticulières ne se prêtaient pas à une commande par engrenages.

Pendant le jour, l'arbre principal N M M, commandé par les turbines à basse pression A, faisait mouvoir l'alternateur de jour T par les poulies q q_2 et donnait le mouvement par les roues dentées I_2 I_3 à l'arbre des excitatrices G H actionnant une dynamo J_1 à courant continu ; la roue dentée I_1 était alors débrayée au moyen d'un levier spécial, de façon à laisser au repos toute la journée l'arbre des alternateurs EF et à diminuer la puissance consommée dans les transmissions. A la tombée de la nuit la courroie était mise sur la poulie folle q_1, l'alternateur de jour T arrêté, et l'on remettait en marche l'arbre E F des alternateurs en embrayant le pignon I_1 sur la roue dentée I_3. On embrayait ensuite successivement, à mesure que la charge augmentait, un, deux et trois alternateurs, le quatrième restant toujours

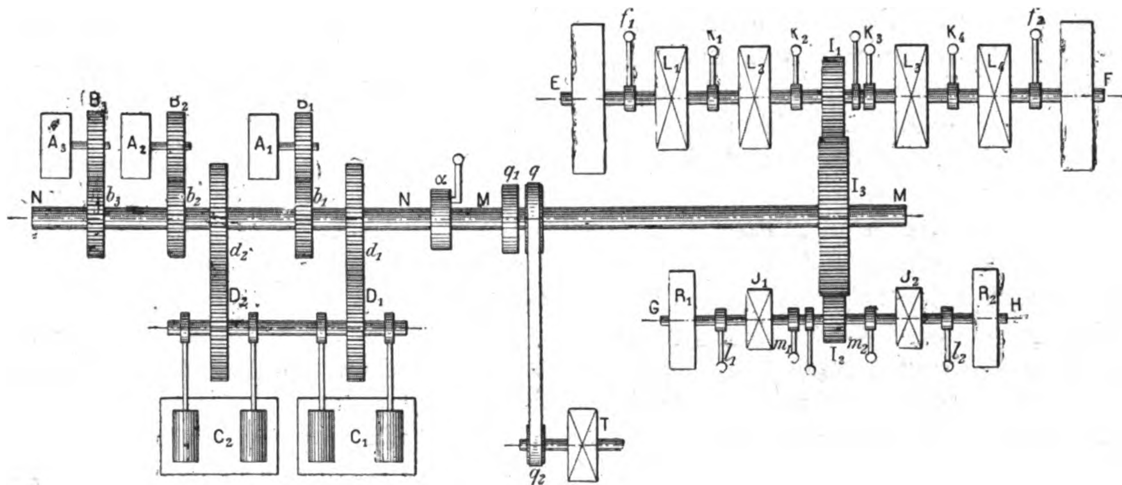


Fig. 2. — Schéma des transmissions à l'usine génératrice de Letten.

comme réserve. Au moment de la charge maxima, les alternateurs absorbaient environ 900 chevaux et les pompes élévatoires environ 100 chevaux, soit au total 1 000 chevaux fournis par les turbines à basse pression A_1 A_2, etc. et la turbine à haute pression embrayée sur l'arbre E F en même temps que les alternateurs.

Mais la turbine à haute pression, en donnant que 300 chevaux sur une puissance totale de 1 000, était insuffisante pour exercer à l'aide de son régulateur automatique un réglage efficace de la vitesse générale de l'usine. Il devenait nécessaire d'agir à la main sur le réglage des turbines à basse pression. Pour éviter cet ennui, on a installé en novembre 1894 une seconde turbine à haute pression de 300 chevaux semblable à la première et disposée à l'autre extrémité de l'arbre EF des alternateurs. Les turbines à haute pression fournissant alors 600 chevaux, c'est à dire plus de la moitié de la puissance totale de l'usine, peuvent maintenant assurer à elles seules par leur régulateur automatique la régularité de vitesse nécessaire aux dynamos, sans qu'on ait besoin de toucher aux turbines à basse pression.

Mais cette régularité n'est devenue complète que depuis l'installation, faite au commencement de 1895, d'une chambre à air sur la conduite amenant aux turbines l'eau à haute pression, afin d'amortir les variations de pression qui se produisaient brusquement dans la conduite lorsque le réservoir de force motrice fournissait de l'eau à d'autres installations hydrauliques particulières et notamment à l'importante installation des téléphones de Zurich. Cette chambre à air est constituée par un réservoir maçonné, de 13,5 m de longueur et 1,50 m de diamètre intérieur,

installé derrière la salle des machines. L'air envoyé dans ce réservoir est fourni par une petite pompe recevant son mouvement par courroie de l'une des turbines à haute pression.

Enfin une dernière modification a été apportée à l'installation électrique de Letten en 1895, au moment où l'on a entrepris de charger des accumulateurs pendant le jour dans une sous-station dont il sera parlé en détail un peu plus loin. La charge des accumulateurs a fait monter subitement la puissance exigée pendant le jour à une valeur supérieure à 100 chevaux, quoique le courant réellement consommé chez les abonnés fût resté très faible. La dynamo de jour, qui n'avait pas été prévue pour une puissance aussi forte, est devenue insuffisante et l'on a pris le parti de l'enlever et de se servir à nouveau, pendant le jour, d'un des gros alternateurs de 300 chevaux. Il faut bien remarquer que ce retour à l'ancien régime, qui peut paraître assez curieux, ne dénote pas de l'imprévoyance dans les modifications apportées antérieurement à l'installation, car il est la conséquence d'un nouveau mode de distribution dont l'éventualité ne pouvait pas être prévue au moment où a été installée la dynamo de jour.

Le gros arbre E F des alternateurs se trouvant, depuis la suppression de la dynamo de jour, remis en marche pendant toute la journée pour actionner une seule des 4 machines, on a cherché à compenser le travail mécanique dépensé ainsi en pure perte en arrêtant pendant le jour l'arbre principal M M qui s'étend sur toute la partie électrique de l'usine. Cette transmission étant encore plus lourde que celle des alternateurs, les pertes mécaniques sont, non seulement compensées, mais encore légèrement réduites par cette combinaison. Pour arriver à ce résultat on a installé aux deux extrémités de l'arbre G H des excitatrices deux petites turbines R_1 R_2 de 15 chevaux, fonctionnant avec l'eau de haute pression du réservoir de force motrice et pouvant être couplées sur l'arbre au moyen des embrayages l_1 l_2. De plus, on a établi des embrayages sur la roue dentée I_2 et sur le manchon d'accouplement α reliant l'arbre principal M M de l'usine électrique à l'arbre principal N N de l'usine hydraulique; l'embrayage installé précédemment sur la roue dentée I_1 a été conservé. Avec ces dispositifs on peut immobiliser, pendant le jour, l'arbre principal M M en découplant le manchon α et en débrayant les deux roues dentées I_1 et I_2. L'alternateur en marche L_1 est mû par une des turbines à haute pression de 300 chevaux; l'excitatrice J_1 reçoit le mouvement d'une des petites turbines à haute pression R_1.

Le soir on embraye les manchons α et les roues I_1 et I_2, on arrête la petite turbine à haute pression R_1 des excitatrices, on met en marche le nombre d'alternateurs L L nécessaire ainsi que la seconde turbine à haute pression et l'on refait marcher les dynamos, tant génératrices qu'excitatrices, au moyen de l'arbre général N N de l'usine hydraulique mû par les turbines à basse pression et régularisé par les turbines à haute pression.

Lorsque le débit de l'eau à basse pression est insuffisant pour alimenter l'usine et qu'on est obligé de mettre en marche un ou deux moteurs à vapeur, on continue à actionner l'usine électrique par les turbines à haute pression seules pendant le jour. Mais le soir, lorsque l'usine électrique est commandée par les turbines et machines à vapeur de l'usine hydraulique, on arrête les turbines à haute pression dont le réglage automatique ne pourrait être supporté par des machines à vapeur, appareils beaucoup moins souples que des turbines.

La figure 3 montre une vue d'ensemble de la partie électrique de l'usine de Letten prise du côté des alternateurs. On y voit distinctement la rangée des 4 dynamos avec leurs 4 volants d'embrayage et tout à fait en avant la première des turbines à haute pression.

Toutes les turbines installées à l'usine de Letten sont du système *Escher Wyss* et Cie,

de Zurich, à axe vertical, avec arrivée d'eau intérieure.

Toutes les dynamos ont été construites par les ateliers d'Oerlikon. Les alternateurs, tournant à 200 tours par minute et d'une puissance de 200 kilowatts, peuvent fournir chacun 110 ampères à la tension de 1 800 à 2 000 volts. L'induit mobile de ces dynamos se compose d'un disque plat calé sur l'arbre, portant 30 bobines et tournant entre deux couronnes extérieures, fixes, formant bâti et comprenant 30 bobines inductrices.

La fréquence du courant est de 6 000 alternances par minute.

L'alternateur de jour était de construction semblable aux gros alternateurs, mais il ne pouvait donner que 40 ampères à la même tension de 1 800 à 2 000 volts, avec une vitesse de 333 tours, soit toujours avec 6 000 alternances par minute. Tous les alternateurs ont leur excitation indépendante.

Les excitatrices sont deux dynamos shunt à courant continu type Manchester, donnant à 400 tours 110 volts et 200 ampères.

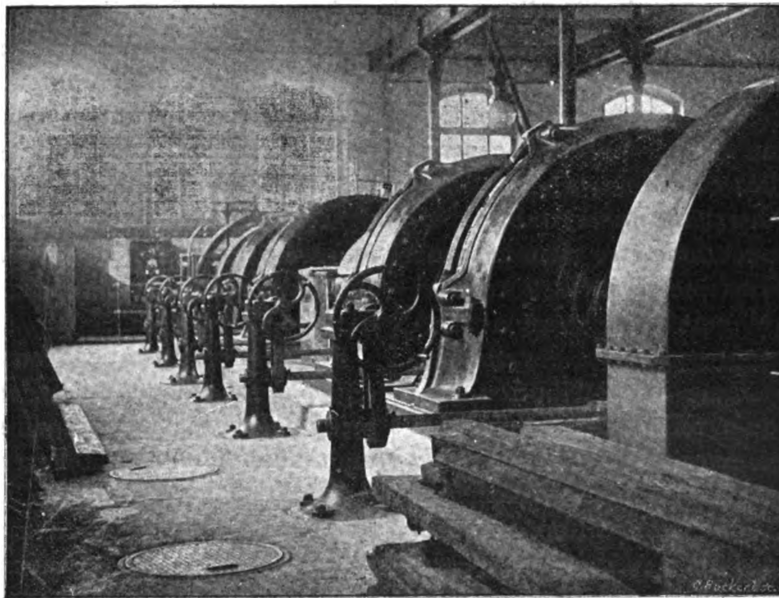


Fig. 3. — Vue intérieure de la station génératrice à Letten.

Le tableau de distribution qui mesure 4 m sur 2 m, est situé à l'extrémité de l'usine. Comme dans toutes les stations à courant alternatif, ce tableau ne contient que des appareils simples et peu nombreux; interrupteurs, rhéostats d'excitation, voltmètres, ampèremètres, coupe-circuits.

Les 4 alternateurs étant accouplés mécaniquement sur le même arbre et possédant une self-induction assez grande peuvent être réunis en parallèle sans précaution aucune, sans rhéostat de charge et même sans indicateur de phase. Les alternateurs, mis en marche au nombre de 1, 2 ou 3 suivant la consommation, fonctionnent toujours en parallèle et le courant total est recueilli sur deux barres générales de distribution,

La dynamo de jour, lorsqu'elle se trouvait dans l'usine, fonctionnait toujours seule, mais avant de l'arrêter il fallait néanmoins la coupler en parallèle pendant un certain temps avec les gros alternateurs qui venaient d'être mis en route. Le petit alternateur n'étant pas monté sur le même arbre que les gros, leurs phases devaient être amenées en coïncidence; le couplage se faisait sur un petit tableau spécial à l'aide d'un indicateur de phase ordinaire.

Des barres générales de connexion du courant primaire partent 3 câbles principaux de distribution ou « feeders » ayant 180 mm², 90 mm² et 70 de section. Les câbles de 180 et 90 mm² se rendent à deux centres ou stations de distribution dénommés « Rüden » et « Kreuzplatz » reliés entre eux par un câble égalisateur de 120 mm² de section sur lequel aucun transformateur n'est branché. Le câble de 70 mm² dessert un petit centre de distribution isolé situé dans le voisinage, au milieu du quartier de l'Industrie.

La tension aux 3 centres de distribution est connue à l'usine au moyen de fils pilotes venant de ces 3 centres. En réalité, les voltmètres commandés par les centres « Rüden » et « Kreuzplatz » donnent toujours des indications sensiblement égales, les deux centres étant toujours reliés ensemble ; un seul voltmètre suffirait, le deuxième ne sert que de contrôle. Le réglage peut donc être effectué dans les mêmes conditions que s'il n'existait qu'un seul feeder, ce qui était le cas au moment où n'existait que le seul centre de distribution de Rüden. Le système de distribution primaire en réseau ou « toile d'araignée » sera conservé pour les extensions ultérieures de l'installation. C'est ainsi qu'un nouveau centre de distribution, dont la création est déjà prévue pour l'année 1897, sera alimenté par un feeder particulier partant de l'usine, mais sera réuni aux deux centres déjà existants, de sorte qu'à ce moment il n'y aura rien de changé au mode de réglage.

On cherche en premier lieu à maintenir la tension primaire constante aux deux centres Rüden et Kreuzplatz sans intercaler des résistances dans les feeders et simplement en faisant varier la tension des alternateurs par une variation opérée sur leur excitation. Une seule dynamo de 22 kilowatts à 110 volts suffisant largement à l'excitation de 4 alternateurs, les circuits inducteurs des 4 alternateurs sont reliés sur le tableau de distribution, en parallèle avec les fils arrivant de l'une ou l'autre des dynamos à courant continu. Un rhéostat est intercalé dans le circuit inducteur de chaque alternateur ; mais les alternateurs travaillant toujours en parallèle on ne touche presque jamais séparément à l'un de ces 4 rhéostats Le réglage s'opère sur un rhéostat placé dans le circuit d'excitation de la dynamo excitatrice à courant continu en service. Au moment de la mise en marche ou du retrait d'un alternateur on fait le réglage à la main en tournant le volant correspondant à cette machine. Les petites variations de charge sont corrigées ensuite par un réglage automatique de l'ensemble des rhéostats effectué à l'aide d'une turbine très petite montée sur l'axe du rhéostat. La vitesse de cette turbine est accélérée ou ralentie par un petit électromoteur tournant dans un sens ou dans l'autre sous l'influence d'un relais. Ce relais, commandé par les fils pilotes arrivant des centres de distribution, agit dans un sens ou dans l'autre suivant que la tension primaire à l'extrémité des feeders est supérieure ou inférieure à la valeur normale de 1800 volts.

En même temps que la tension primaire est réglée à une valeur constante sur le réseau principal, la tension primaire est également maintenue constante à l'extrémité du feeder du quartier de l'Industrie. Ce feeder étant indépendant du réseau principal quoique relié en parallèle avec ce dernier aux barres de distribution des alternateurs, le réglage est effectué en intercalant un rhéostat de résistance variable, en série, entre les alternateurs et le feeder. Les commutateurs et appareils de mesure appartenant au circuit du quartier de l'Industrie sont montés sur un petit tableau spécial situé à gauche du grand tableau de distribution. Le rhéostat de réglage du feeder peut être manœuvré à la main, mais en général il est mis en mouvement automatiquement par un petit moteur électrique commandé par un relais actionné par les fils pilotes venant de l'extrémité du feeder.

Le réseau primaire a été alimenté depuis la mise en marche de l'usine, à l'automne 1892, jusqu'en août 1895, par un seul feeder de

2 200 m de longueur longeant la grève de la rive droite de la Limmat et se rendant de la station de Letten A à la sous-station de Rüden B située sur le « Rathaus quai » dans la partie la plus centrale et la plus vivante de la ville (voir le plan de la figure 1). Ce feeder était constitué par trois câbles à 2 conducteurs concentriques de 60 mm² de section chacun, posés dans un même caniveau. La sous-station de Rüden a été disposée tout de suite pour pouvoir alimenter 17 postes de transformateurs, sans compter le poste placé dans la sous-station même ; mais au début on n'a monté que 7 câbles primaires desservant 7 postes de transformateurs situés en grande partie sur la rive droite de la Limmat, dans la vieille ville. On a installé en outre un poste transformateur dans le bâtiment de la sous-station ainsi qu'un transformateur de 10 kilowatts placé dans l'usine de Letten et destiné à l'éclairage de la station génératrice et de quelques bâtiments voisins.

Le réseau primaire, formé de câbles concentriques de section variable entre 20 et 100 mm², formait au commencement de 1893, c'est à dire au début, une longueur totale, sans compter le feeder, de 17 km de câbles concentriques.

Le réseau primaire est à deux conducteurs et le réseau secondaire est installé avec le système à 3 fils. Mais à l'inverse de ce qui se passe dans le réseau primaire qui forme la toile d'araignée, dans le réseau secondaire chaque poste de transformateur a son petit circuit indépendant à 3 conducteurs.

La plus grande partie du réseau secondaire, destinée à l'éclairage privé, est établie à l'aide de 3 câbles séparés à un seul conducteur, de 25 à 200 mm² de section. Il avait au 1er janvier 1893, un développement de 35 500 mètres de câble secondaire simple et comprenait 40 boîtes de jonction avec coupe-circuits et 180 branchements.

Les secondaires des quelques postes de transformateurs desservent également des circuits à 210 volts destinés à l'éclairage public par arcs en série. Ces circuits, au nombre de 7, contiennent chacun 6 lampes en série, sauf celui de la gare qui n'en a que 5 ; les 36 lampes restantes servent à l'éclairage d'une partie des quais. L'éclairage public n'a pas subi d'augmentation depuis son installation première. Les circuits d'arcs en série formés de câble de 7 à 25 mm² de section, ont une longueur totale de 13 km de câble simple. Dans le courant de l'année 1894, on a intercalé dans les circuits d'arc un petit transformateur additionnel qui fournit une tension supplémentaire de 15 volts qui donne plus de régularité aux lampes à arc.

Les câbles primaires et secondaires sont du même type, Berthoud-Borel, avec isolement au jute imprégné d'enduit, et double enveloppe extérieure en plomb.

Les câbles primaires sont calculés pour une perte de 5 pour 100 et les secondaires pour une perte de 2 pour 100.

Les câbles primaires ou secondaires sont posés dans des caniveaux en béton remplis de sable et fermés par un couvercle situé à 0,50 ou 0,60 m du sol. Les jonctions et dérivations de câbles, aussi bien dans le circuit primaire que dans le circuit secondaire, sont faites au moyen de pièces de raccords en cuivre, noyées dans des boîtes en fonte remplies d'une matière bitumeuse coulée à chaud.

Le câble primaire concentrique de 20 × 20 m² à 100 × 100 mm² de section coûte approximativement de 5,35 à 12,20 fr. par mètre, y compris les frais de pose, boîtes de jonctions etc. Le mètre de câble secondaire simples de 25 à 200 mm² de section, coûte de 1,85 à 8,60 fr.

Sur un grand nombre de points les caniveaux des câbles primaires ont été placés dans une même tranchée à côté des caniveaux pour câbles secondaires à 3 fils ou pour circuits d'arcs. Les frais de caniveaux et tranchées se sont élevés en moyenne à 9,40 fr. par mètre courant ; les dépenses totales, comprenant le prix des câbles ainsi que le prix de la pose, des caniveaux et des tranchées, sont estimées au chiffre moyen de 18 fr par mètre de canalisation.

Le tableau suivant montre l'accroissement

successif des canalisations primaires et secondaires.

	Câbles primaires concentriq.	Longueur de cables secondaires simple	Longueur de tranchées nouvelles
Câbles nouv. posés 1893	3 200 m	13 800 m	2 800 m
Câbles nouv. posés 1894	2 600 m	15 900 m	7 300 m
Câbles nouv. posés 1895	14 000 m	20 000 m	

Actuellement les canalisations comprennent environ 37 km 1/2 de câble primaire concentrique et 97 km. de câble secondaire simple.

A l'automne 1893 a été posé un câble primaire concentrique de 900 mètres de longueur et de section, servant de feeder à un centre de distribution indépendant du réseau principal et situé dans le quartier de l'Industrie, sur la rive gauche de la Limmat, presque en face de l'usine de Letten.

Quatre nouveaux postes de transformateurs ont été installés dans le courant de l'année 1893, 4 autres pendant l'année 1894, puis encore 4 nouveaux pendant l'année 1895, de sorte qu'il y a actuellement 20 postes de transformateurs en comptant le transformateur placé dans la sous-station de Rüden. Ces postes de transformateurs sont indiquées par des points sur le plan (fig. 1), on voit que certains d'entre eux installés sur les deux rives du lac sont situés dans des faubourgs très éloignés de la ville et surtout de l'usine génératrice.

Ayant reconnu, au milieu de l'année 1893, que le feeder de la sous-station de Rüden était devenu insuffisant pour alimenter les 17 postes de transformateurs alors existants, on a installé sur l'emplacement C occupé dans un faubourg de la rive droite par le poste de transformateurs de Kreuzplatz une sous-station desservie par un feeder spécial. Ce feeder, qui part de l'usine génératrice de Letten, est formé par un câble concentrique de 2200 m de longueur et de section. Afin d'égaliser la tension sur l'ensemble du réseau primaire le centre de distribution de Kreuzplatz a été réuni au centre de Rüden par un conducteur égalisateur formé de 2 câbles concentriques reliés en quantité, de 60 mm² de section et 1200 m de longueur.

Les deux sous-stations de Rüden et de Kreuzplatz sont formées par deux petits pavillons carrés, de construction légère, de 12 m² de surface édifiés sur la voie publique. A l'intérieur du bâtiment se trouvent des panneaux tapissant le fond de la pièce et la moitié des murs latéraux. Sur le tableau du fond aboutissent les extrémités des câbles à haute tension, qui traversent un coupe-circuit double en fils de cuivre renfermés dans un tube en verre et un interrupteur bipolaire, puis viennent se fixer sur deux barres générales de connexion horizontales en cuivre, montées sur les 3 panneaux. Les dérivations desservant les différents postes de transformateurs partent de ces barres générales de connexion. Chaque dérivation se compose de deux barres de cuivre verticales, reliées à l'extrémité du câble concentrique de distribution des postes après avoir traversé un coupe-circuit et un interrupteur bipolaire permettant d'isoler à volonté chacun des branchements. Un voltmètre, réuni à un petit transformateur, indique la tension existant entre les deux barres de connexion ; la sous-station ne contient pas d'autre appareil de mesure.

Une partie de la pièce est occupée par deux transformateurs montés l'un au-dessus de l'autre et entourés d'un cadre protecteur en bois, empêchant l'accès des parties dangereuses. En comptant ce petit poste local, dont le circuit secondaire à 3 fils alimente les parties voisines du bâtiment, la sous-station de Rüden dessert 13 postes de transformateurs et la sous-station de Kreuzplatz 7 postes. Les transformateurs des postes de Rüden et de Kreuzplatz ont une puissance totale de 20 kw chacun. Parmi les autres postes de transformateurs, l'un a une puissance de 100 kw ; il y en a 1 de 80 kw, 2 de 60 kw, 5 de 40 kw, 6 de 20 kw, 2 de 10 kw et 1 de 5 kw, soit pour les 20 postes des transformateurs une puissance totale de 685 kw. Il faut y ajou-

ter un transformateur de 20 kw placé à la station génératrice et servant à l'éclairage de l'usine de Letten, plus un poste de transformateur isolé de 40 kw monté dans le quartier de l'Industrie. Tous les transformateurs réunis représentent donc une puissance totale de 745 kw.



Fig. 4. — Vue d'un poste de tiansformateurs.

Tous les postes de transformateurs, à l'exception des 3 placés dans la station et les sous-stations, sont disposés dans des kiosques métalliques construits sur la voie publique et servant en même temps à la publicité. La figure 4 donne la vue du kiosque de la *Tonhalle*, situé à côté du lac dont on aperçoit le quai dans le fond de la photographie. Chaque kiosque renferme une charpente en bois pouvant supporter 3 transformateurs placés les uns au-dessus des autres ; dans le cas présent deux cases seulement sont occupées par des transformateurs de 30 kw. Les connexions primaires, comprenant les bornes d'arrivée du câble concentrique et un coupe-circuit bipolaire, sont montées sur un petit tableau fixé sur le côté des transformateurs (il n'est pas visible sur la figure). Les câbles aboutissant au circuit primaire des 2 ou 3 transformateurs du poste sont réunis en quantité sur les barres de haute tension du petit tableau. On voit sur la photographie, au-dessous des transformateurs, un petit panneau auquel aboutissent les fils, réunis également en quantité, venant du circuit secondaire des transformateurs. De ce petit tableau, portant des interrupteurs et des coupe-circuits, partent les câbles formant le circuit secondaire de distribution du poste, à 3 fils et 105 volts.

Les transformateurs, construits par les ateliers d'Œrlikon, ont un enroulement primaire unique recevant le courant à 1 800 volts, mais l'enroulement secondaire comprend 2 bobines réunies en tension, alimentant le réseau secondaire à 3 fils et donnant une tension de 105 volts sur chacun des ponts.

(A suivre). Ch. Jacquin.

POTENTIELS ÉLECTRIQUES DANS UN LIQUIDE EN MOUVEMENT

PREMIÈRE PARTIE.

Etude expérimentale avec liquides de grande résistance.

Une fausse interprétation d'un fait observé par M. Zollner et publié par lui le 20 octobre 1871 dans les C. R. de l'Académie Royale des Sciences de Saxe motivait une critique très judicieuse et une explication exacte du phénomène par M. Beetz dans les C. R de l'Académie Royale des Sciences de Bavière, le 4 mai 1872 et dans les Annales de Poggendorf (t. 146, ann. 1872, p. 486). La discussion paraissait close, mais une question nouvelle du plus vif intérêt avait été posée dans le débat : le mouvement seul peut-il produire une force électromotrice entre deux points d'un liquide ?

Le problème était alors le suivant

1° Lorsqu'un liquide s'écoule à travers un tube existe-t-il, entre les extrémités d'un fil plongées en deux points de la colonne liquide, une force électromotrice assimilable à la force électromotrice observable entre les pôles d'un élément de pile ?

2° Quelle relation existe-t-il entre la grandeur d'une telle force électromotrice et les constantes du phénomène : nature de la paroi, dimension des tubes, nature du liquide, vitesse d'écoulement ?

3° Quelle est l'origine de la force électromotrice ?

I. — EXISTENCE DE FORCE ÉLECTROMOTRICE.

A. *Méthode*. — Le principe de la méthode pour résoudre le problème fut donné dans la seconde série d'expériences entreprises par M. Zollner (fig. 1) (*Ann. de Poggendorf*, t. CXLVIII, ann. 1873, p. 640) pour répondre à M. Beetz : un courant d'eau est lancé sous pression à travers un tube capillaire *c*, deux électrodes relient les extrémités à un galvanomètre G, on mesure les intensités des courants.

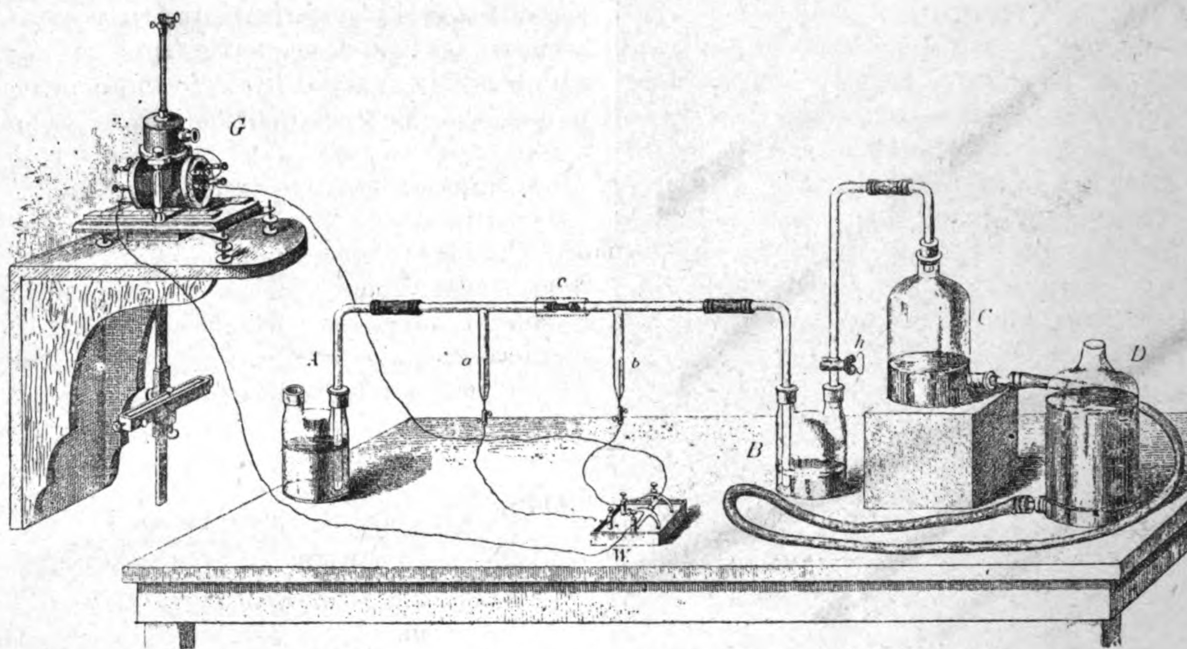


Fig. 1.

1° *Isolement*. — Le principe posé, les difficultés apparurent. La première fut celle d'isoler ; les isolants humides deviennent des conducteurs de très grande résistance dont l'effet indéterminé est une source d'erreurs considérables, l'inconvénient était particulièrement à craindre dans les deux dispositions admises : 1° isolement de l'appareil entier ; 2° isolement du tube d'écoulement et de l'une des extrémités de la colonne liquide, maintien de la communication de la seconde électrode avec le sol. M. Haga (fig. 2)(Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. II, 1877, p. 329) adopte la première disposition et insiste particulièrement sur les précautions prises par lui pour obtenir l'isolement et en vérifier la réalisation. M. Haga entoure, en outre, l'appareil d'une série d'écrans reliés au sol pour éviter toute influence des corps environnants.

MM. Dorn, Clark (fig. 3), Elster, Edlund préfèrent la seconde disposition.

L'électrode isolée doit être la plus éloignée du réservoir, comme le font remarquer suc-

cessivement M. Elster (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. VI, 1879, p. 553) et M. Dorn (Ann. de Wiedem., t. IX, 1880).

L'électrode la plus rapprochée du réservoir, mise au sol, élimine les effets dus aux variations de potentiel du réservoir.

Les moyens pris pour assurer l'isolement de l'électrode et la vérification de l'isolement ne sont pas développés dans les différents mémoires. M. Dorn insiste seulement sur les précautions prises par lui pour isoler l'électromètre (loc. cit., p. 515-517). Devant cette lacune, il faut, ou renoncer à toute discussion, ou admettre que les effets dus au défaut d'isolement étaient négligeables; cette dernière hypothèse est admissible au moins pour les expériences de M. Dorn dans lesquelles l'auteur a pris les précautions les plus minutieuses pour assurer l'exactitude des résultats.

2° *Polarisation des électrodes.* — La seconde difficulté est la polarisation. Trois procédés permettent d'en éliminer les effets; 1° l'évaluation de la grandeur de la polarisation et la correction des mesures; 2° la détermination de la force électromotrice avec l'électromètre; 3° l'emploi d'électrodes impolarisables.

L'effet de la polarisation a été regardé comme négligeable par M. Zöllner (Ann. de Pogg., t. CXLVIII) dans les expériences où les électrodes étaient des fils de platine plongés dans l'eau.

Une tentative pour évaluer l'effet de la polarisation a été faite par M. Edlund (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. I, 1877, p. 161). La méthode de M. Edlund consiste à placer

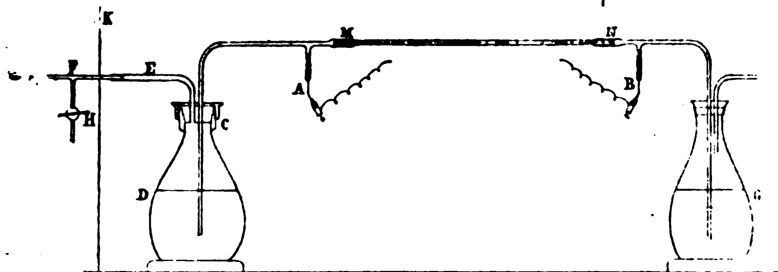


Fig. 2.

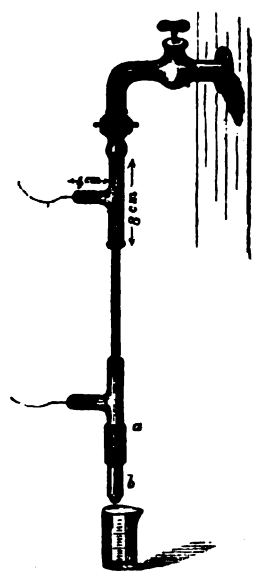


Fig. 3

dans le circuit un disque mobile, nommé par lui dépolarisateur, qui intervertit à des périodes très courtes les communications des électrodes avec le galvanomètre. Si l'on admet, comme M. Edlund, 1° que les courants de polarisation de deux périodes successives sont égaux, 2° que les phénomènes de rupture et de rétablissement de courant ne produisent aucun effet, l'intensité du courant observée pendant le mouvement du dépolarisateur, sera une fraction déterminée de l'intensité du courant qui traverserait le galvanomètre, si la communication des électrodes avec le galvanomètre était maintenue sans changement, et si la polarisation n'existait pas.

Il suffit alors d'évaluer le facteur de réduction pour déduire de la déviation observée pendant la rotation du dépolarisateur l'intensité du courant cherché.

Les deux hypothèses sur lesquelles est basée l'exactitude de la détermination ne sont pas justifiées.

M. Dorn, dans deux mémoires successifs (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. IX, 1880, p. 530-535), (Ann. de Wiedem., t. X, 1880, p. 50-62) après avoir perfectionné les appareils et analysé le phénomène a démontré 1° que les inversions produisent des phénomènes d'induction, extra-courant de fermeture, 2° que les décharges ne sont pas totales pen-

dant chaque période de communication.

La méthode ne permet d'obtenir des mesures exactes, ni dans l'évaluation de la polarisation, ni dans la mesure de la résistance des liquides, fait signalé dans d'autres circonstances par MM. Bouty et Foussereau (Journal de Physique, IIe série, t. IV, 1885, p. 419).

La méthode de M. Edlund présente en outre l'inconvénient d'exiger un grand nombre de déterminations pour la mesure de l'inconnue. Les erreurs inévitables de chaque détermination accroissent l'erreur commise dans la détermination finale, sans que la limite de l'approximation puisse être fixée. La correction est illusoire.

L'emploi des électromètres supprime la correction ; le cas a été réalisé successivement par M. Haga (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. II, 1877, p. 326) avec l'électromètre à quadrants ; par M. Clark (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. II, 1877, p. 335) avec l'électromètre à quadrants Thomson, modifié par Kirchoff; par M. Dorn (Ann. de Wiedem., t. IX, 1880, p. 513) avec un électromètre dont la sensibilité est étudiée (p. 515-517) ; par M. Elster (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. VI, 1879, p. 553).

L'usage des électrodes impolarisables était rendu impossible par le choix des liquides employés, eau de conduite, eau distillée, mélanges d'eau et d'alcool.

B. *Constantes de l'expérience.* — Les constantes de l'expérience sont : le liquide, le solide dans lequel le liquide s'écoule, les appareils de mesure, les unités de mesure.

Le degré d'approximation du résultat dépend de la précision des définitions de ces quatre données.

1° *Définition du liquide.*—La caractéristique d'un liquide dans des expériences d'électricité est la résistance. Or les liquides employés ont été :

L'eau de conduite et l'eau distillée, expériences de MM. Zöllner, Edlund, Haga, Clark, Elster, Dorn ;

Des mélanges d'eau et d'alcool, expériences de MM. Edlund et Dorn ;

De l'alcool absolu, expériences de M. Dorn ;

Deux dissolutions étendues de sulfate de cuivre, la première contenant 3,1 mmgr de sulfate de cuivre pour 100 gr d'eau ; la seconde 1,6 mmgr de sulfate de cuivre pour 100 gr d'eau, expériences de M. Dorn.

J'ai rappelé, dans une note insérée au Journal de Physique (3e série, t. IV, p. 293), les différences qui existent entre les nombres représentant la résistance de l'eau, suivant la provenance, d'après un travail étendu de M. Foussereau (Journal de Physique, 2e série, t. IV, p. 208). La conclusion de la note est la suivante : « L'eau distillée n'est pas un liquide défini, l'eau ordinaire est un liquide encore plus complexe ; la résistance de l'eau et la différence de potentiel d'un métal au contact de l'eau ne sont pas des constantes physiques, comme le peuvent être ces mêmes quantités, lorsque le liquide est une dissolution saline ou un liquide défini. » Les résultats trouvés par M. Haga (loc. cit.) sont la justification de cette critique ; M. Haga en faisant passer la même eau à travers un même tube sous la même pression a trouvé que la valeur de la force électromotrice, après une première distillation, était une fraction de Daniell, et après une nouvelle distillation était deux Daniell et quart.

L'impossibilité de définir l'eau n'entraîne pas l'impossibilité de rechercher la relation qui peut exister entre les différentes variables dont on aura à s'occuper et le rejet de toutes les expériences, mais précise l'une des difficultés que l'on aura à surmonter ; c'est pour éviter l'incertitude due a ces variations de résistance que M. Dorn (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. IX, 1880, p. 535) mesure la résistance de l'eau employée par lui immédiatement après chaque mesure de force électromotrice.

2° *Définition du solide.* — La définition du solide présente des difficultés semblables. M. Zöllner (loc. cit.) et M. Edlund (loc. cit.)

constatent l'influence de la nature de la paroi et cherchent à rendre les résultats comparables en employant des tubes fabriqués avec du verre pris dans le même creuset. M. Clark (loc. cit.) indique une série de précautions prises par lui pour laver les tubes de verre. Le travail le plus étendu et le plus intéressant sur les variations de la force électromotrice avec le nettoyage des tubes est celui de M. Dorn (Ann. de Wiedem., t. V, 1878, p. 40) et (Ann. de Wiedem., t. IV, 1880, p. 524-525). M. Dorn reprend les observations de M. Clark, montre que pendant les douze premières minutes la valeur de la force électromotrice, trouvée en faisant écouler de l'eau distillée, a varié dans le rapport de deux à trois, met en évidence les changements produits par différents nettoyages d'un morceau de tube avec de l'acide sulfurique chaud additionné d'acide azotique, reprend enfin les expériences avec différents morceaux d'un même tube, nettoyés comme il le précise, traversés par de l'eau prise à un même réservoir de quelques litres de capacité, et montre que les différences entre les résultats obtenus s'étendent seulement à 3 pour 100.

La conclusion est la suivante : l'état du verre a une influence très grande sur la valeur de la force électromotrice à déterminer ; l'état du verre correspondant à une valeur déterminée de la force électromotrice ne peut pas être précisé. Il résulte de là que les expériences comparables seront seulement celles où on pourra employer les mêmes tubes dont on fera varier la longueur et dans lesquels on fera passer l'eau avec des vitesses différentes, conditions auxquelles s'est astreint M. Dorn (loc. cit.).

3° *Appareils de mesure.* — La détermination précise de la sensibilité de l'électromètre et du galvanomètre employés a été développée par M. Dorn seul (Ann. de Wiedem., t. IX, 1880, p. 515-517-538).

4° *Unités de mesure.* — Les unités de mesure de forces électromotrices ont été un élément Daniell, Daniell normal (M Haga, loc. cit.), Daniell de composition donnée (M. Clark, loc. cit.), Daniell modèle de M. Boetz, étudié particulièrement par M. Dorn (Ann. de Pogg., nouvelle série, t. IX, 1880, p. 515-517).

C. *Données variables.* — Les données variables d'une expérience à l'autre sont : la longueur et le rayon des tubes, la pression du liquide. Les longueurs des tubes sont indiquées en millimètres sans précautions particulières pour les mesurer. Les longueurs employées ont été comprises entre 10 mm, longueur la plus petite employée par M. Zöllner, et 593 mm, longueur la plus grande employée par M. Haga. Les diamètres ont été mesurés avec un microscope par M. Zöllner, par la méthode de Coulomb par M. Dorn (Ann. de Wiedem., t. V, 1878 et t. IX, 1880). MM. Edlund, Haga, Clark n'indiquent pas le procédé employé par eux. Les diamètres des tubes employés ont été compris entre 0,2601 mm (M. Dorn) et 7,67 mm (M. Clark).

II. — LOIS EXPÉRIMENTALES

Toutes les données du problème sont précisées, les résultats des expériences sont les suivants :

1° Tous les expérimentateurs dont les noms sont cités constatèrent dans toutes leurs expériences l'existence d'une force électromotrice entre deux points du liquide qui traverse les tubes.

2° Le second problème était la détermination des relations qui peuvent exister entre la valeur de la force électromotrice et la longueur, le rayon des tubes, la vitesse d'écoulement. La vitesse d'un liquide traversant un tube sous une pression donnée dépend de la longueur du tube, les variables dont on étudie l'influence ne sont pas indépendantes. Les tentatives faites pour rechercher l'influence due à chacune d'elles en particulier amena à partager le problème en deux :

1° Etude des forces électromotrices produites par l'écoulement des liquides à travers des tubes qui satisfont à la loi de Poiseulle

2° Etude des forces électromotrices pro-

duites par l'écoulement des liquides à travers des tubes qui ne satisfont pas à la loi de Poiseulle.

Le moyen le plus sûr pour savoir si un tube satisfait à la loi de Poiseulle est de vérifier le fait par l'expérience, c'est ce que fit M. Dorn (Ann. de Wiedem., t. IX, 1880, p. 517).

Le classement des faits atteint, dans ces conditions, une précision que l'on n'avait pas encore pu obtenir. Alors cesse l'indécision des premiers énoncés suivants : de MM. Haga, Clark, Dorn : Avec des tubes suffisamment étroits par rapport à la longueur, la force électromotrice produite par l'écoulement de l'eau dans un même tube, sous une même pression, est indépendante de la longueur. Les restrictions dans les énoncés relatifs aux variations de la force électromotrice avec les diamètres sont écartées. La loi générale suivante est établie par M. Dorn (Ann. de Wied., t. IX, 1880) : avec des tubes qui suivent la loi de Poiseulle, lavés avec toutes les précautions indiquées par M. Dorn pour enlever toute trace de matière étrangère sur les parois, la force électromotrice correspondant à l'écoulement de l'eau distillée sous la même pression est indépendante de la longueur et de la section.

Dans le cas où les tubes ne satisfont pas à la loi de Poiseulle, l'énoncé précédent n'est plus applicable. M. Dorn (Ann. de Wied., t. IX, 1880, p. 543-550) a déterminé la force électromotrice produite par l'écoulement de l'eau dans un nombre considérable de tubes dont les sections ont été variées dans le rapport de un à vingt. M. Dorn a étudié l'influence du nettoyage par les différents procédés employés dans le cas des tubes étroits, l'influence de la nature de la paroi en employant des tubes fabriqués soit avec le même verre, soit avec des verres différents et des tubes enduits intérieurement de gomme laque. Les forces électromotrices mesurées directement ont été ramenées à la valeur qu'elles eussent atteinte dans le cas où la vitesse eût été de 8 m par seconde dans chaque expérience.

Les tables construites pour faire cette réduction ont été employées seulement dans les limites entre lesquelles l'exactitude en avait été vérifiée. La plus grande difficulté de la comparaison était la variation de résistance de l'eau employée. M. Dorn chercha à atténuer l'erreur due à ce défaut d'identité en prenant une série de moyennes (loc. cit., p. 545-546). M. Dorn déduisit de l'ensemble des expériences, le résultat suivant : Avec des vitesses égales de l'eau l'intensité est à peu près proportionnelle au diamètre des tubes, et, par suite, la force électromotrice est inversement proportionnelle au diamètre ; mais cet énoncé est une loi empirique exacte seulement pour les diamètres et les vitesses employés et aucun fait n'en autorise la généralisation.

M. Edlund oppose à l'énoncé précédent le suivant : La force électromotrice est fonction de la vitesse, seule variable indépendante du phénomène. Les changements de pression, en particulier, n'ont d'autre effet que les variations de vitesse qu'ils déterminent. La force électromotrice est inversement proportionnelle à la section des tubes. (Ann. de Wiedem., nouvelle série, t. I, 1877, t. VIII, 1879, t. IX, 1880). L'attribution à la vitesse d'une influence prépondérante est une interprétation, par suite de laquelle les effets de variation de longueur, de section, de nature des tubes sont secondaires ; l'expérience ne l'impose pas, la discussion, développée plus loin, sur l'origine des forces électromotrices, la condamne.

La seconde partie de l'énoncé de M. Edlund est susceptible d'une vérification directe. Une critique très développée, basée sur des évaluations précises a été adressée par M. Dorn à M. Edlund (Ann. de Wied. t. X, 1880, p. 46 et suivantes).

1° Les expériences de M. Edlund ont été faites avec des tubes qui n'avaient subi aucun nettoyage préalable.

2° Les dimensions ont été peu variées, les dimensions des tubes employés par M. Edlund ont été :

	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Diamètre intérieur	5	6,4	3,25	1,5	3	4,5
Longueurs........	350	350	210	210	308	251 551
Distances des électrodes..........	140	143	140	147	151 60	189

3° Les expériences de M. Edlund ont été peu nombreuses,

Ces critiques d'ordre général sont les seules qui permettent d'infirmer le résultat de M. Edlund.

Les deux autres causes d'erreurs dont M. Dorn calcule l'effet sont :

1° L'emploi du dépolarisateur.

2° Le changement de la force électromotrice par suite de la variation du coefficient de glissement, variation due à l'altération des tubes par un séjour plus ou moins prolongé dans l'eau.

Les données numériques des mémoires de M. Edlund sont insuffisantes pour calculer la limite des erreurs dues à la première cause (Dorn Ann. de Wied., t. X, 1880, p. 62). L'effet de la seconde est très faible. La discussion de M. Dorn montre les motifs des différences constatées entre les résultats de M. Edlund et de M. Dorn, mais les mesures sont insuffisantes pour préciser l'erreur et fixer la seconde loi.

L'ensemble des précautions prises par M. Dorn, le nombre et la variété des expériences m'amènent à admettre l'énoncé de M. Dorn, plutôt que celui de M. Edlund.

En résumé, un énoncé précis est donné dans le cas des tubes qui suivent la loi de Poiseulle, une loi empirique est trouvée dans le cas des tubes qui ne suivent pas la loi de Poiseulle.

III. — ORIGINE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES.

La troisième question est la découverte de l'origine des forces électromotrices observées. Trois hypothèses sont possibles : le développement de l'électricité peut être dû : 1° à une dissymétrie produite aux électrodes, soit par une différence de pression, soit par le frottement du liquide qui s'écoule ;

2° à une action de la paroi ;

3° au mouvement du liquide, abstraction faite du tube.

Les trois hypothèses ont été examinées.

1° *Dissymétrie des électrodes.* — M. Edlund. pour chercher l'effet de la pression partage un tube en deux parties par un disque de métal ou de bois placé perpendiculairement à la longueur, remplit d'eau les deux segments, relie chacun des morceaux à un galvanomètre par des fils d'or et établit une différence de pression de deux atmosphères entre les deux compartiments. M. Edlund n'observe aucun déplacement de l'aiguille du galvanomètre en conclut que la différence de pression ne produit aucune force électromotrice notable. Les conditions dans lesquelles s'est placé M. Edlund ne sont pas précises, il faudrait tenir compte de phénomènes nombreux, mal définis ; l'expérience est insuffisante ; mais d'après les observations de MM. Bichat et Blondlot (J. de Physique, 2e série, t. II, p. 503), les variations de la force électromotrice d'un élément constitué cuivre-sulfate de cuivre-platine est *un millième de volt* environ pour une compression de 100 atmosphères. La variation est environ *un demi millième de volt* pour 100 atmosphères avec un couple platine-argent dans une dissolution d'azotate d'argent.

Enfin avec les deux couples :

Platine-cuivre-eau,

Platine-argent-eau,

MM. Bichat et Blondlot n'ont obtenu aucun changement appréciable ni à la compression, ni à la détente, pour 100 atmosphères. On peut conclure de ces faits que la force électromotrice produite par la différence de pression aux deux électrodes dans les expériences d'écoulement des liquides est absolument négligeable.

L'hypothèse d'une différence de potentiel produite par un frottement aux électrodes a été abandonnée par M. Edlund à la suite d'expériences dans lesquelles M. Edlund plaçait les électrodes : 1° très près de la paroi des tubes d'écoulement ; 2° dans des tubulures

latérales, remplies d'eau et où les électrodes étaient baignées par un liquide relativement en repos.

L'hypothèse de la production de force électromotrice par une dissymétrie aux points de contact des électrodes et du liquide était ainsi écartée.

2° *Effet de la paroi.* — La seconde hypothèse est l'effet de la paroi. M. Edlund compare la force électromotrice trouvée entre deux électrodes plongées en deux points d'un liquide qui s'écoule librement à travers un tube, à la force électromotrice qu'il obtient en plaçant dans le tube perpendiculairement à la longueur et entre les électrodes un disque de laiton ou un disque d'ébonite percé de petites ouvertures. Les déviations observées au galvanomètre sont peu différentes. M. Edlund en conclut que le frottement du liquide contre les ouvertures du disque ne détermine aucune force électromotrice et, généralisant cette idée, que la force électromotrice n'est pas due au frottement de l'eau contre la paroi. M. Edlund rejette toute influence de la paroi et conclut que le développement d'électricité est dû uniquement au mouvement du liquide.

M. Zollner, au contraire (An. de Poggend. t. 158, an. 1876, p. 497), (Analyse, Journal de Physique, 1re série, t. VI, an. 1877) compare, dans une longue série d'expériences, la production de la force électromotrice dans les machines à frottement, au développement de la force électromotrice obtenue dans l'écoulement de l'eau à travers les tubes capillaires par suite du frottement, et attribue à la paroi l'action prépondérante.

L'analogie soutenue par M. Zollner est insuffisante pour expliquer les lois énoncées plus haut. L'eau ne glisse pas sur une lame de verre comme le frottoir d'une machine électrique sur le plateau, une partie du liquide adhère à la surface, il y a déplacement des couches liquides supérieures et arrachement.

Les expériences de M. Zollner ne sont pas susceptibles de mesure. La mesure des variations produites par un changement de la paroi a été tentée successivement par M. Haga (loc. cit.) sur des tubes de verres nus, et sur des tubes enduits intérieuremsnt de collodion, de gomme laque, de soufre, par M. Clark (loc. cit.) sur des tubes dont les parois intérieures étaient recouvertes de cire, de graisse, de gomme laque, d'une couche transparente d'argent. M. Dorn (An. de Wied., t. V, an. 1878, p. 39) a trouvé avec des tubes enduits de collodion et de gutta-percha des forces électromotrices 1 D, 287 et 1 D, 374 doubles de celles qu'il avait obtenues avec le même tube et l'eau, le passage de l'eau ayant lieu dans toutes les expériences sous une même pression de 1 000 mm.

Ces expériences montrent une influence de la paroi, mais sont insuffisantes pour décider si la paroi est ou n'est pas indispenpensable à la production de la force électromotrice. L'effet prédominant ou négligeable de la paroi ne peut être déduit que d'expériences contradictoires faites, les unes, en conservant la paroi, les autres en la supprimant. Ces expériences ont été faites par M. Elster et par M. Dorn.

M. Elster (Ann. de Pogg., nouvelle série, t. VI, 1879) compare la force électromotrice qui existe entre deux points pris à des niveaux différents dans le filet d'eau clair et continu coulant à l'air libre. La disposition de l'expérience est la suivante (fig. 4) : Une électrode *b* est fixée dans un tube de verre monté sur un tuyau de conduite et placée à quelques millimètres de l'orifice, l'autre électrode *t* est maintenue sur le bord d'un vase isolé, rempli d'eau, les électrodes sont reliées à un électromètre E. M. Elster compare les forces électromotrices observées dans les trois cas suivants ; 1° l'orifice A du tube est plongé dans l'eau du récipient. 2° l'orifice du tube est à 20 mm de la surface libre de l'eau du récipient. 3° l'orifice du tube est à 70 mm de la surface libre de l'eau du récipient. La vitesse moyenne de l'eau dans les trois expériences était 2615 mm par seconde. Les forces

électromotrices trouvées dans le premier cas sont inférieures à $0^{D},05$ et dans chacun des deux autres inférieures à $0^{D},04$. par suite bien inférieures à celles que l'on obtient dans l'écoulement de l'eau à travers les tubes qui sont de l'ordre des Daniell.

Une contre épreuve due à M. Elster (loc. cit.) est la suivante : Le filet d'eau (fig. 5) est reçu sur un plateau d'une substance isolante sur lequel l'eau s'étale. M. Elster plonge soit en un point pris dans le filet et en un point pris sur la nappe, soit en deux points de la nappe

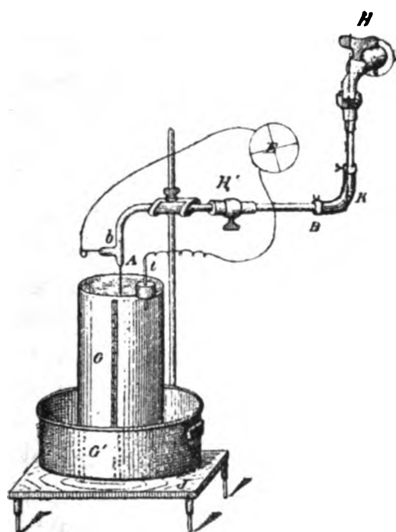


Fig. 4.

deux fils de platine qu'il relie aux pôles d'un électromètre Thomson ou aux bornes d'un galvanomètre. M. Elster constate : 1° L'existence d'une force électromotrice entre deux points pris à des niveaux différents. La force électromotrice est indépendante de la position de l'électrode au niveau considéré. Aucune force électromotrice n'est observable entre deux points pris aux même niveau. 2° La force électromotrice est d'autant plus petite que l'angle formé par le plateau avec la verticale suivant laquelle le filet s'écoule est plus grand. 3° La force électromotrice est proportionnelle au carré de la vitesse aussi longtemps que la constitution de la surface du plateau et que l'ouverture d'écoulement restent les mêmes.

M. Elster interprète ce dernier énoncé en disant : « La force électromotrice engendrée doit être proportionnelle à la perte de force vive que les molécules d'eau éprouvent dans le glissement sur le plateau. »

4° Dans les expériences citées l'électrode placée au niveau le plus élevé se comporte comme le zinc d'un élément Daniell, l'électrode placée au niveau le plus bas comme le cuivre du même élément. Le courant dans le liquide est dirigé dans le même sens que le mouvement du liquide.

M. Elster donne le résultat d'un grand nombre d'expériences comparatives faites avec des plateaux de verre, de caoutchouc, de marbre, de gomme laque etc.

M. Elster vérifie que les étendues mouillées sont à peu près les mêmes et que les différences des valeurs trouvées ne sont pas attribuables à la différence d'étendue des surfaces mouillées.

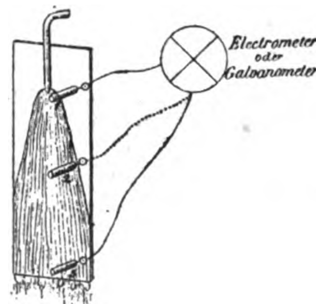


Fig. 5.

M. Dorn (Ann. de Wied., nouvelle série, t. V., 1878, p. 27-29-33) mesure l'intensité du courant obtenu en reliant à un galvanomètre deux électrodes de platine placées à 97 mm l'une de l'autre.

1° Lorsque les électrodes sont sur un filet d'eau qui s'écoule à travers un tube de verre. 2° Lorque le tube étant coupé les mêmes électrodes sont l'une à l'orifice du tube, l'autre à 97 mm de la première dans le filet libre et continu qui s'échappe du tube. La déviation dans le second cas est le quarantième environ de la déviation dans le premier. M. Dorn discute avec un soin extrême toutes les conditions des expériences, vérifie que la différence des

déviations ne peut-être attribuée ni à un défaut d'idensité des électrodes, ni à une différence de résistance des colonnes d'eau, l'une dans le tube, l'autre libre et conclut que « le filet d'eau libre ne produit aucune force électromotrice correspondante à celle qui existe dans le courant d'eau qui s'écoulent à travers un tube. »

Les conclusions que nous admettrons avec M. Dorn sont : 1° « Le simple mouvement de l'eau n'est pas la cause de la force électromotrice qui existe, lorsque l'eau s'écoule à travers les tubes. » 2° La paroi est nécessaire au développement des forces électromotrices. 3° L'origine des forces électromotrices est au contact du liquide et de la paroi où le développement est produit par un mécanisme que les expériences précédentes ne révèlent pas.

(A suivre). G. Gouré de Villemontée.

L'ÉCLAIRAGE A L'ACÉTYLÈNE (¹).

FOURS ÉLECTRIQUES.

On a pu se rendre compte d'après ce que nous avons dit précédemment, de l'importance que présente la fabrication d'un carbure de calcium produisant, par réaction avec l'eau, de l'acétylène aussi pur que possible. La plupart des dangers et inconvénients de ce gaz proviennent, en effet, des impuretés qui l'accompagnent ; dans une installation importante, on peut employer des procédés particuliers d'épuration du gaz ; mais dans la plupart des applications prévues à l'heure actuelle, c'est à dire pour des petites usines privées alimentant quelques becs dans le local où est monté le gazogène, la plus grande simplicité des appareils est de rigueur et l'application de ces procédés semble bien difficile sinon impossible. Tout ce qu'on peut admettre, c'est un dispositif servant à dessécher l'acétylène avant de le brûler. Il est donc essentiel que le carbure de calcium, soit aussi pur que possible. Son prix de revient serait bien entendu plus élevé, mais cette pureté est un des éléments de succès de la nouvelle industrie ; on obtiendrait d'ailleurs, avec du carbure pur, un rendement plus élevé en gaz, ce qui permettrait de le vendre proportionnellement plus cher sans beaucoup augmenter le coût de l'éclairage.

La plupart des carbures qu'on trouve dans le commerce sont loins d'être purs ; leur qualité cependant s'améliore sans cesse. Dans les premiers temps, il n'était pas rare de n'obtenir qu'un rendement de 250 à 280 litres d'acétylène par kg de carbure ; à présent, presque tous les fabricants garantissent un rendement minimum de 300 litres au kg, ce chiffre est souvent dépassé. Il faut espérer qu'on ne s'en tiendra pas là.

M. Morehead et de Chalmot ont recherché par expérience quelle était l'influence des matières premières et de la main-d'œuvre sur la qualité du carbure et aussi quelle était la qualité de carbure la plus économique à produire au point de vue de la dépense en force motrice.

Le coke ne doit pas contenir beaucoup de cendres ; celui qui a servi aux expériences de ces ingénieurs en contenait 7 pour 100.

Si l'on emploie du coke contenant de 10 à 11 pour 100 de cendres, le carbure est de qualité inférieure. On n'a pu obtenir de carbure de qualité acceptable avec du coke contenant 27 pour 100 de cendres. Le coke doit être broyé très fin et passé dans un tamis de 50 mailles au pouce.

La chaux n'exige pas un broyage aussi fin que le coke ; les plus gros grains doivent passer dans un tamis de 10 mailles au pouce. Si la chaux est en grains plus gros, la qualité du carbure devient inférieure. On peut se rendre compte de l'importance de cet état de pulvérisation de la chaux en comparant le rendement de gaz obtenu avec de la chaux vive (310 litres) et avec la chaux éteinte à l'air (329 litres). La première n'était pas aussi fine que la chaux vive. Cependant, nous verrons plus loin qu'à un point

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, n° du 15 août 1896, p. 289.

de vue général, la chaux non éteinte est préférable.

La chaux employée contenait 1,5 pour 100 de magnésie et 1 pour 100 d'autres impuretés. La chaux anhydre doit contenir au moins 95 pour 100 d'oxyde de calcium et 5 pour 100 au plus d'impuretés. La présence de la magnésie est particulièrement nuisible. On n'a pu obtenir une bonne qualité de carbure avec une chaux de la composition suivante :

Insoluble	0,24	pour 100
Silice	0,78	»
Oxyde de fer et d'alumine	0,68	»
Oxyde de calcium	92,83	»
» de magnésium	5,47	»
Total	100,00	

Des expériences ultérieures ont prouvé qu'une quantité de magnésie de 2,5 pour 100 dans le mélange avait une influence marquée sur la production. La chaux employée pour la fabrication du carbure ne doit pas contenir plus de 3 pour 100 de magnésie. Le rôle de cette substance est de former un voile entre le charbon et la chaux, ce qui empêche leur combinaison. M. Moissan a en effet démontré que la magnésie ne s'unit pas avec la chaux ni le carbone (¹).

Le mélange de la chaux et du coke pulvérisés doit être très intime, sous peine de ne produire que du carbure de qualité inférieure.

Si l'on mesure la quantité d'énergie électrique dépensée pendant la durée de l'expérience et la production totale de carbure obtenue, on peut, après avoir déterminé le rendement en gaz de ce dernier, se rendre compte du volume d'acétylène produit par cheval-heure. Les meilleurs résultats sont obtenus avec la chaux vive, ce qui provient sans doute de la dépense d'énergie nécessaire pour décomposer la chaux hydratée. La chaux vive employée contenait, après le broyage, de 5 à 9 pour 100 d'eau. La chaux vive a de plus, l'avantage de peser moins et d'être beaucoup moins volumineuse ; les mélanges non convertis faits avec de la chaux vive refroidissent, au sortir du four, beaucoup plus rapidement que ceux faits avec de la chaux éteinte. Les seuls désavantages de la chaux vive, c'est qu'elle doit être broyée, et que les mélanges où elle entre doivent être plus souvent tisonnés dans le four ; ils peuvent, en effet, former sans glissement des talus à très forte déclivité le long des parois du four, et par conséquent laisser un trou tout autour des charbons.

Le mélange à traiter doit contenir en moyenne 100 parties de chaux et 64 à 65 parties de carbone pour donner un carbure rendant 310 litres environ de gaz par kg. Si la tension est de 100 volts, il vaut mieux prendre un peu plus de charbon (100 parties de chaux et 66 ou 67 parties de charbon). Si la tension est de 65 volts au moins, 63 à 64 parties de charbon suffisent. Lorsqu'on augmente la quantité de charbon, le carbure devient plus pur, mais la partie extérieure, mélange de matières converties et non converties, devient plus considérable.

Le plus grand rendement de gaz par cheval est obtenu lorsqu'on fabrique du carbure produisant environ 310 litres de gaz par kg. Le rendement en kg de carbure par cheval varie inversement avec la qualité.

Au point de vue de l'emploi du courant, le meilleur rendement a été obtenu avec une tension de 100 volts et une intensité d'environ 1 700 ampères. La qualité du carbure est meilleure avec de bas voltages, de 50 à 65 volts.

Ces résultats obtenus avec un appareil particulier dans lequel les résultats devaient varier en raison des résistances passives, des pertes de chaleur, etc., suivant les circonstances des expériences, n'ont évidemment qu'une valeur toute relative.

Les fours électriques employés jusqu'ici sont, en effet, assez rudimentaires. Les inventeurs semblent avoir simplement agrandi les appareils de laboratoire sans chercher à utiliser rationnellement ni l'énergie électri-

(¹) Moissan. — *Comptes-rendus*, t. CXVIII, p. 506.

que, ni l'énergie calorifique. On traite le mélange de chaux et de charbon par grandes quantités à la fois, ce qui entraîne une grande dépense de chaleur pour maintenir en fusion pendant plusieurs heures le carbure formé. Il faut, dans beaucoup de fours, attendre que le carbure soit refroidi avant de recommencer une nouvelle opération, ce qui entraîne encore une perte de chaleur ; au lieu d'utiliser la chaleur qui se dégage du four en marche pour échauffer le mélange à traiter, on laisse perdre cette chaleur et on introduit le mélange froid dans les fours. D'autre part, la résistance électrique du four est augmentée par l'interposition de cette épaisse couche de chaux et de charbon ou de carbure fondu. Dans leurs expériences, MM. Morohead et de Chalmot ont observé que la chute de potentiel dans le carbure en fusion à l'intérieur du four, dont nous donnerons les dimensions plus loin, était de 6 volts pour chaque pied de hauteur, soit de 0,2 volt par centimètre ; si l'on songe que l'intensité du courant était, dans ces expériences, de 2 000 ampères, on voit que chaque centimètre d'épaisseur de la couche de carbure fondu représente une perte de 400 watts soit plus d'un demi cheval-vapeur. La perte d'énergie électrique dans les charbons de l'arc est aussi très considérable. D'après les mêmes auteurs, elle atteindrait les valeurs suivantes :

Tableau I

Dates	Durée des Expériences en heures	Volts	Ampères	Chute de potentiel dans les charbons de l'arc	Perte d'énergie dans les charbons de l'arc ; en watts
27 juin	2,50	100	1 700	7 0/0	11 900
2 juillet	3	»	1 666	8 »	13 328
1 »	2,25	»	1 700	10 »	17 000
24 juin	3,20	»	1 600	7 »	11 200
28 »	2,50	»	1 700	10 »	17 000
18 juillet	3,00	65	2 000	5 »	8 500
19 »	3,00	»	1 900	5 »	6 175
5 »	3,75	»	2 000	5 »	8 500
9 »	4,50	»	2 000	5 »	8 500
10 Août	6,00	»	1 800	8 »	9 360
13 »	6,00	»	1 800	8 »	9 360
31 juillet	7,00	75	1 800	8,5 »	11 475

Les perfectionnements que l'on pourrait apporter aux fours électriques actuels sont donc considérables.

Nous avons déjà décrit un certain nombre de fours électriques construits pour la fabrication du carbure de calcium (¹).

La plupart de ceux qui sont employés sont analogues à celui des usines de Froges.

Le four électrique employé à Spray (N. C) est construit en briques ordinaires (fig. 5). La face antérieure est fermée par 4 portes en fer placées l'une au-dessus de l'autre. Les

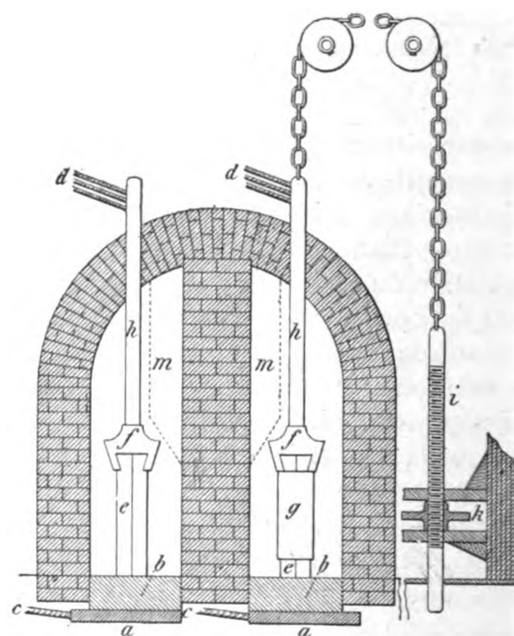


Fig. 5. — Four à carbure de calcium de Spray.

deux portes supérieures restent fermées ordinairement. La cheminée qui sert au dégagement des gaz produits par les réactions communique avec le four par les carneaux *m*. Le four mesure sur la sole, à l'intérieur, 76 × 91,5 cm. Le courant électrique pénètre dans le four par son sommet et sa base. L'électrode inférieure est une plaque en fer *a*, recouverte par une épaisseur de 20 cm de charbon *b* formée soit par des débris de charbons à lumière électrique, soit par un mélange de coke et de

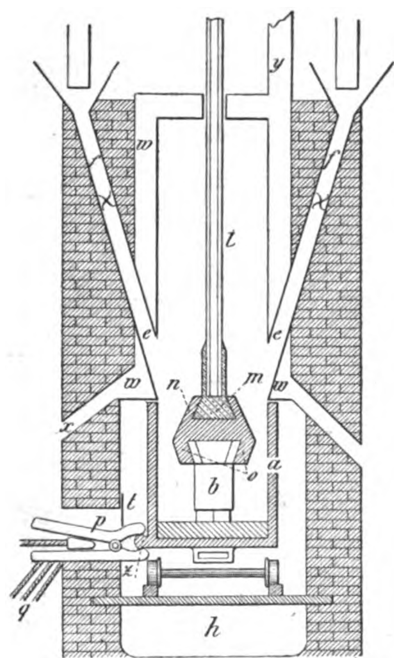
(¹) Voir *L'Éclairage Éclairage*, t. VII, p. 5, 74, 339, 4 avril, 11 avril et 23 Mai 1896.

goudron. Seize câbles en cuivre *c* de 19 mm de diamètre, conduisent l'électricité des dynamos à l'électrode inférieure.

Seize autres câbles *d* sont connectés à l'électrode supérieure qui est composée de 6 crayons en charbon *e*, ayant chacun 10 × 10 cm de section droite et 91,4 cm de longueur.

Ces charbons sont disposés en 3 paires placées l'une derrière l'autre ; ils sont entaillés au sommet pour s'adapter dans les mâchoires *f*. Ils sont enveloppés par une feuille de fer *g* qui n'est représentée que sur une des électrodes. Ils forment donc en réalité un seul crayon.

Le porte-crayon *f* est vissé à une barre en cuivre *h* de 7,6 × 7,6 cm de section et à laquelle les câbles d'amenée du courant sont fixés. Cette barre est attachée à une chaîne qui passe sur deux poulies et vient aboutir à une longue vis verticale *i*. Sur cette vis est placé un écrou qui forme le moyeu d'une roue *k* ; en tournant cette roue on peut donc faire monter ou descendre les charbons *e*. L'ouvrier qui manœuvre la roue *k* a devant



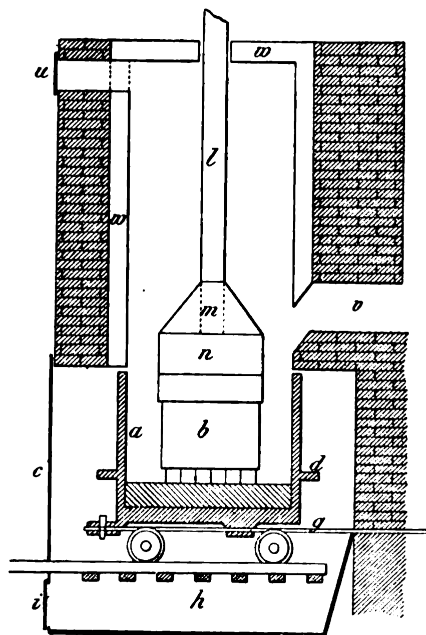


Fig. 6 et 7. — Fours à carbure de calcium de Niagara.

les yeux les appareils qui lui indiquent l'intensité et la tension du courant électrique. C'est d'après les indications de ces appareils qu'il fait monter ou descendre les charbons.

Dans ces appareils employés à Spray, il est nécessaire de laisser refroidir le four avant de le vider. Afin de pouvoir obtenir un résultat plus économique en se servant constamment du même four, les fours de l'usine en construction à Niagara, ont reçu des modifications importantes. Les figures 6 et 7 représentent deux coupes différentes de ces fours. Le fond du four est remplacé par un chariot en fer *a* qui roule sur des rails et dans lequel le carbure est formé.

Au fur et à mesure qu'on ajoute du mélange de chaux et de charbon et que le carbure se forme, on élève le charbon supérieur *b*.

Quand le chariot est rempli, les crayons *b* sont complètement soulevés au-dessus de ses bords. Le courant est alors interrompu, et la porte *c* est ouverte ; le chariot peut donc être retiré ; il est remplacé par un chariot vide.

Les crayons sont abaissés à nouveau sur le fond du chariot qui reçoit des charges successives du mélange à transformer.

Le fond du chariot est recouvert de 10 à 20 cm de charbon. Quand le contenu du chariot a suffisamment refroidi hors du four, ce qui exige de 6 à 12 heures, la caisse est enlevée de la voie par les tourillons *d*, et renversée. Son contenu est jeté sur une grille en fer sur laquelle le carbure reste, tandis que tout le poussier non transformé tombe dans une pièce inférieure où il est recueilli pour être traité ultérieurement.

Le mélange de chaux et de coke est introduit par charges successives dans le chariot par les canaux *e* qui ont une largeur égale à celle du chariot. Les tiges *f* qui portent 4 lames s'étendent sur toute la largeur des canaux *e*, elles font l'office de distributeurs ; elles tournent automatiquement, et plus vite elles tournent, plus grande est la quantité de matière fournie au chariot. Afin de pouvoir tisonner le four automatiquement, le chariot est attaché à une barre de fer *g* par un couplage en tête du chariot ; cette barre passe à travers le mur postérieur du four et reçoit un mouvement automatique de va et vient dont l'amplitude est d'environ 5 cm et la fréquence 20 coups par minute. Le chariot roule ainsi en avant puis en arrière. Chaque fois qu'il s'arrête ou qu'il repart, il reçoit un léger choc qui est suffisant pour éviter la formation de bulles par les gaz qui s'échappent à travers la composition. Le mouvement du chariot empêche aussi l'arc électrique de se produire pendant un temps trop long à la même place ce qui, sans cela, se produit d'ordinaire. On augmenterait ainsi sensiblement l'utilisation de la chaleur de l'arc. Sous la voie, est disposé un cendrier *h*, dans lequel les matières non traitées qui tombent du chariot sont recueillies ; on les retire de temps à autre par la porte *i*. Le porte-charbon est plus compliqué qu'à Spray. On emploie 12 charbons ; les machoires sont donc deux fois plus lourdes. Il ne serait pas prudent de suspendre ce porte-charbon à une tige en cuivre qui s'échaufferait fortement dans cet espace fermé. Il est donc attaché à une tige *l* qui est composée de 3 couches : une intérieure en cuivre (15 × 3,8 cm) et deux extérieures en fer (15 × 2,5 cm).

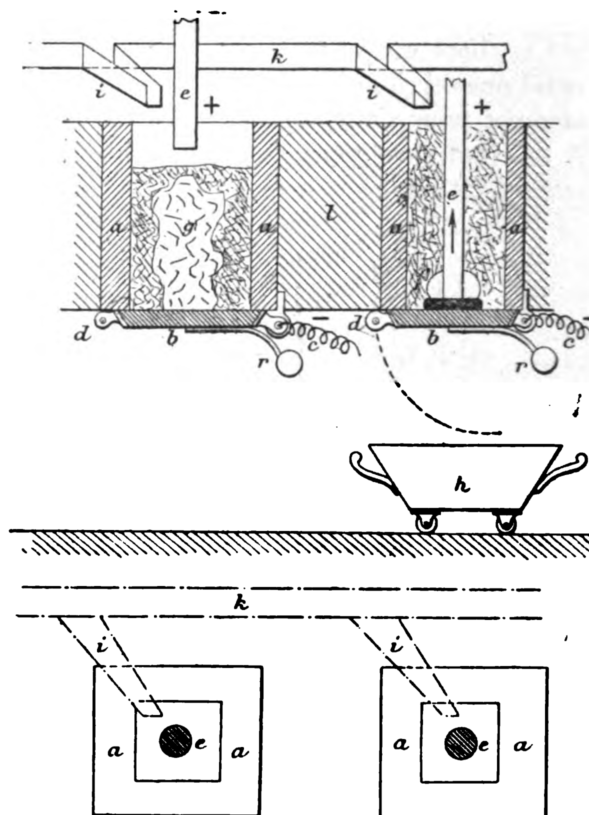


Fig. 8 et 9. — Four à carbure de calcium Bullier, coupe verticale et plan.

De plus, comme il ne serait pas pratique d'attacher dans le four, les douze charbons dans leur enveloppe en fer au porte-charbon, les mâchoires elles-mêmes sont composées de deux pièces *m* et *n* qui glissent l'une dans l'autre. L'ensemble des charbons est placé dans la pièce *n* à l'extérieur du four et le tout est placé dans le chariot *a*. La tige *l* est ensuite abaissée et les pièces *m* et *n* solidement fixées l'une à l'autre.

Le chariot *a* forme une des électrodes et est relié aux conducteurs *q* du courant par deux mâchoires *p* ; la mâchoire inférieure est fixe

et l'autre peut être soulevée. La porte t sert à fermer l'ouverture une fois tout mis en place.

Le four est entièrement fermé. Quand il est mis en marche, la porte c est close, mais la porte n est maintenue ouverte jusqu'à ce que l'oxyde de carbone qui est formé dans la réaction ait remplacé l'air dans le four. Ce point est obtenu lorsque la flamme sort par cette porte ; on la ferme à ce moment ; les gaz s'échappent dès lors par la cheminée v. L'emploi de la porte u empêche les explosions d'oxyde de carbone dans le four fermé. La cheminée v commence juste au-dessus du chariot. Le porte-charbon et la tige l ne sont donc pas dans le courant de gaz chauds. La partie supérieure du four est refroidie, de plus par une chemise d'air w où un courant d'air est maintenu. L'air froid entre par les ouvertures x et l'air chaud est évacué par la cheminée y ; il peut servir à chauffer le local.

Ce four a été inventé par MM. Morehead, de Chalmot et King ; il porte le nom de ce dernier.

Les crayons de charbon doivent recevoir des soins particuliers pour qu'ils durent aussi longtemps que possible. Si l'on a mis suffisamment de coke dans le mélange, les crayons ne sont pas beaucoup attaqués à leur extrémité. Ils diminuent d'environ 0,127 à 0,254 cm par heure. Ils deviennent plus minces lorsqu'ils sont exposés chauds à l'air. Il sont surtout attaqués après que le courant électrique a été interrompu, parce que, tant que le four est en opération, les gaz qui se dégagent montent autour des charbons et les isolent de l'air. Afin de mieux économiser les charbons, il convient donc de maintenir les fours en marche avec aussi peu d'interruption que possible. Dans le four fermé, les charbons sont entourés par des gaz non oxydants, qui les protègent très efficacement. Dans les fours de Spray, les charbons sont entourés par une feuille de fer qui va depuis le porte-charbon jusqu'à 10 cm de l'extrémité inférieure des charbons. Cette enveloppe est remplie par un mélange de coke et de goudron ou de poix. Ce mélange est cuit en entourant les charbons et leur enveloppe par le produit chauffé au rouge qu'on retire du four électrique, ou en les plaçant dans un feu spécial. L'enveloppe dure en général aussi longtemps que les charbons. Une série de ceux-ci dans un four ouvert, du type de Spray, et avec des opérations interrompues dure en moyenne 100 heures. Ces chiffres se rapportent à un courant de 1 700 à 2 000 ampères. Le voltage n'a pas d'influence perceptible sur le résultat. Si l'on opère, par exemple, avec 1 700 ampères et 100 volts, soit 225 chevaux, la production de carbure par heure sera d'environ 38 à 39 kg ; une série de charbons suffira donc à la production de 3 800 à 3 900 kg de carbure, même dans un four ouvert. Si le four était employé sans arrêts, les charbons dureraient au moins de 200 à 300 heures, et le prix des crayons par tonne de carbure serait d'environ 5 fr.

M. Bullier s'est surtout occupé de simplifier la main d'œuvre.

Les figures 8 et 9 représentent en coupe verticale et en plan une série de fours dont le fond ou sole est horizontal et mobile.

La section de chaque four est carrée ; les murs a sont formés de briques réfractaires.

Le fond ou sole b, en métal ou en charbon est articulé autour du point c et est maintenu en place, pendant la réaction, par un contrepoids r et par une fermeture d.

Ce fond est relié avec le pôle négatif de la source d'électricité ; il constitue un des pôles de l'appareil.

Le charbon e qui est en communication avec le pôle positif de la source d'électricité plonge dans le mélange de chaux et de charbon.

Au fur et à mesure que la réaction s'opère, il se produit autour du charbon une cavité f au fond de laquelle se dépose le carbure de calcium fondu ; on relève peu à peu le charbon e, et la masse de carbure de calcium augmente progressivement de volume.

A la fin de l'opération, on rompt le circuit

électrique et le four contient un bloc G de carbure de calcium. En faisant alors basculer le fond *b*, ce bloc ainsi que la matière qui n'est pas entrée en réaction tombent dans un wagonnet *h* pour être transportés dans un tamis où la séparation du carbure et de la matière non traitée a lieu.

Chaque four peut être alimenté de matière

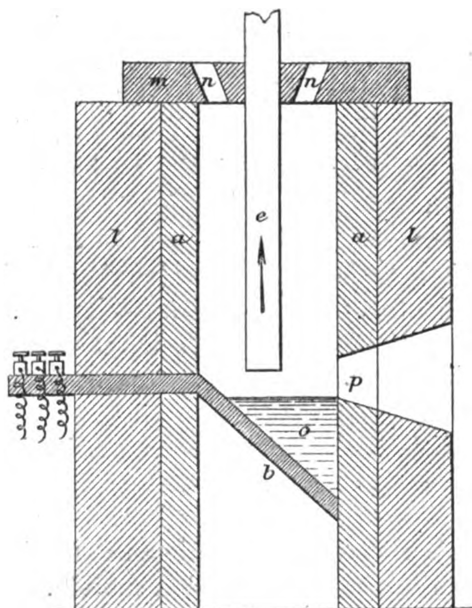


Fig. 10. — Autre four Bullier.

à traiter par un conduit mobile *i* branché sur un collecteur *k*. De cette façon, dès qu'on a vidé le four, il suffit de refermer le fond, de descendre le charbon, de charger à nouveau, et de commencer une nouvelle opération.

L'espace entre chaque four peut être rempli par une matière peu conductrice de la chaleur, telle que de la magnésie pulvérisée, de la chaux, ou du carbonate de chaux, disposée autour des murs pour former une sorte de revêtement *l*.

Dans le cas où le fond du four est fixe, la matière traitée qu'il contient est retirée, après l'opération, en levant une des parois du four.

Dans le type de four représenté en figure 10, les murs sont également constitués par des briques en magnésie, en chaux ou en carbonate de chaux, et sont munis d'un revêtement en même matière. Le revêtement est maintenu par une armature en brique ou en métal.

Le couvercle *m* en même matière, est muni d'orifices *n* pour l'introduction de la matière à traiter et livre passage au charbon *c*.

La partie inférieure du four forme une chambre O dans laquelle on place préalablement du carbure de calcium sur lequel on amène le charbon *c* au contact lors de la mise en marche. L'appareil est muni d'un trou de coulée *p* qui permet d'évacuer le carbure fondu.

(*à suivre*) G. PELLISSIER.

GALVANOMÈTRES (¹)

GALVANOMÈTRES A CADRES MOBILES

Les galvanomètres à cadre mobile dérivent du syphon recorder de W. Thomson; appliqués à la mesure des courants par M. d'Arsonval, ils sont souvent appelés galvanomètres Deprez d'Arsonval. Peu sensibles au début, surtout lorsqu'on les comparait aux galvanomètres Thomson, ces instruments furent considérés comme ne pouvant servir que dans un très petit nombre de cas, mais à l'usage on leur découvrit des qualités qu'on n'avait pas prévues ; leur construction se perfectionnant, les galvanomètres à cadre mobile ont pris aujourd'hui une place prépondérante dans les laboratoires et les usines il faut reconnaître d'ailleurs que leurs qualités s'adaptent admirablement aux conditions exigées par les mesures électriques ; assurément leur emploi n'est pas encore et ne sera jamais universel, mais ils remplacent de plus en plus les galvanomètres à aimants mobiles dans les mesures les plus délicates de l'industrie.

Sous sa forme primitive (fig. 12) le galvanomètre à cadre mobile se compose d'une bobine ou *cadre mobile* rectangulaire, formée d'un certain nombre de tours de fil enroulés sur un mandrin de forme convenable et agglomérés avec de la gomme laque. Cette bobine,

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 5 septembre, p. 453.

retirée de son mandrin, est suspendue par deux fils d'argent fins reliés chacun à un des bouts du fil et attachés d'autre part à une potence et à un ressort. La bobine ainsi suspendue peut tourner entre les branches d'un aimant en fer à cheval ; un cylindre de fert doux placé au centre, d'un diamètre conve-

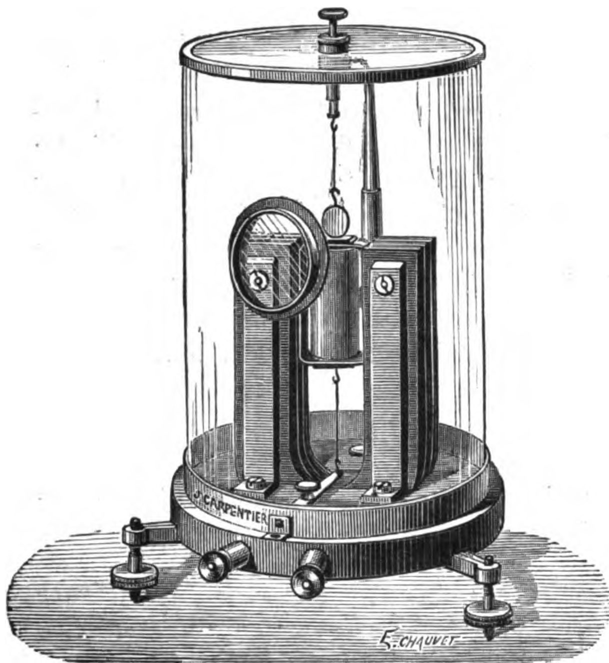


Fig. 12. — Galvanomètre Deprez d'Arsonval.

nable pour ne pas gêner le mouvement du cadre, sert à diminuer l'entrefer de l'aimant et par suite à augmenter l'intensité du champ magnétique dans lequel se meut la bobine.

Si on a eu soin dans la construction de faire passer le prolongement des fils de suspension par le centre de gravité du cadre mobile, celui-ci est en équilibre dans toutes les positions que l'on donne à l'instrument ; d'autre part, le champ magnétique créé par l'aimant est très puissant comparé à celui de la terre et il est très fermé, de telle sorte que les actions magnétiques extérieures sont pratiquement nulles et on peut s'en servir dans les ateliers aussi bien que dans les laboratoires, même à côté des plus fortes machines.

Le cadre mobile dévié de sa position d'équilibre tend à y revenir, sollicité par la torsio des fils de suspension, mais le mouvement du cadre dans le champ intense qui l'entoure crée une f. é. m. assez élevée, et, si le circuit du galvanomètre est fermé sur une résistance quelconque, un courant plus ou moins inense prend naissance dans le cadre et s'oppose au mouvement, en vertu de la loi de Lenz ; d'où un amortissement d'autant plus énergique que la résistance est plus faible.

Supposons un cadre de hauteur h, de largeur l, tournant autour d'un axe parallèle à h et passant au milieu de l, placé dans un champ magnétique d'intensité uniforme $\mathcal{H}$, le couple exercé par un des côtés du cadre lorsqu'il est parcouru par un courant I, a pour valeur

$$\frac{l}{2} h \mathcal{H} I.$$

Comme les côtés horizontaux supposés parallèles aux lignes de force du champ ont une action nulle, l'action totale d'une spire est double, de sorte que si le cadre porte n spires, le couple devient

$$n l h \mathcal{H} I = n S \mathcal{H} I = \Phi_0 I,$$

puisque $n S \mathcal{H}$ est le produit d'une surface par une intensité de champ magnétique, c'est à dire le flux total qui traverserait le cadre mobile si celui-ci avait son plan perpendiculaire au champ magnétique.

Le couple de torsion du fil a pour valeur W α, nous pouvons donc poser

$$W \alpha = \Phi_0 I$$

et la déviation donnée par un courant I est :

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{W} I. \qquad (11)$$

On peut remplacer W par sa valeur en fonction de T et λ

$$\alpha = I \frac{T^2}{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} \frac{\Phi_0}{\pi^2 K}. \qquad (12)$$

Le terme $\frac{\Phi_0}{\pi^2 K}$ qui est constant est l'équivalent pour Ces galvanomètres du facteur $\frac{\mathfrak{M} G + \mathfrak{M}' G}{\pi^2 K}$ trouvé pour les appareils à aimants mobiles.

Remarquons en passant que, bien qu'il y ait en réalité 2 fils de supension, le système est à proprement parler unifilaire, et le couple indépendant de la tension exercée.

Si maintenant nous considérons le cadre mobile comme un système oscillant, nous pouvons chercher la valeur de A dans l'équation

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + A \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = 0$$

d'un précédent article (Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 396). La f. é. m. engendrée par l'oscillation a pour valeur $\frac{d\Phi}{dt}$, or pour des amplitudes très petites,

$$\frac{d\Phi}{dt} = \Phi_0 \frac{d\alpha}{dt},$$

et le courant produit par cette f. é. m., est :

$$i = \frac{\Phi_0}{R} \frac{d\alpha}{dt},$$

en appelant R la résistance totale du circuit, c'est à dire la résistance du cadre mobile et du circuit intercalé entre les bornes. Le courant induit i exerce un couple

$$\Phi_0 i = \frac{\Phi_0^2}{R} \frac{d\alpha}{dt}.$$

A est donc égal à $\frac{\Phi^2}{R}$ et la mesure de λ pour une valeur donnée de R permet de connaitre la valeur que prend b pour toutes les valeurs de R.

Dans certains cas l'amortissement est obtenu par un enroulement auxiliaire constamment fermé sur lui même et dont la résistance est inconnue ; dans d'autres enfin, la résistance de l'air intervient. Pour généraliser, nous écrirons

$$A = \frac{\Phi_0^2}{R} + A_1, \qquad (13)$$

A_1 étant la valeur de A lorsque R est infini c'est à dire *circuit ouvert*, il nous est facile de mesurer A_1 ou b_1 et nous avons :

$$b = \frac{\Phi^2}{2KR} + b_1, \qquad (14)$$

b seul ne suffit pas à caractériser le galvanomètre, il faut encore connaître R, mais il y a une certaine valeur de R qui suffit avec T_0 à indiquer l'amortissement ;

$$b_c = \frac{\pi}{T_0}$$

dans ce cas l'amortissement est complet et nous avons vu (*L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 397) que l'on peut exprimer α ou ε en fonction t, α_0 et ω_0 sous une forme très simple ; condition toujours facile à réaliser avec un galvanomètre à cadre mobile, puisqu'on dispose de R. On a intérêt à connaître la valeur de R qui donne l'amortissement critique ; on peut la déterminer directement en faisant osciller le cadre et varier R jusqu'à ce que le mouvement devienne apériodique, on peut également le calculer en observant pour une résistance connue R, le décréement logarithmique λ_R et la durée d'oscillation T_R, d'où l'on tire

$$b_R = \frac{\lambda_R}{T_R}$$

Si le galvanomètre est amorti même à circuit ouvert, on a :

$$b_\infty = \frac{\lambda_\infty}{T_\infty}, \quad b_c = \frac{\pi}{T_0} \quad \text{et} \quad T_0 = \frac{T_\infty}{\sqrt{1 + \frac{\lambda_\infty^2}{\pi^2}}}$$

On obtient finalement

$$R_c = R \frac{b_R - b_\infty}{b_c - b_\infty}. \qquad (15)$$

Pour un galvanomètre dont l'amortissement à circuit ouvert est négligeable, on peut écrire

$$R_c = R \sqrt{\frac{\lambda^2_R}{\pi^2 + \lambda^2_R}}$$

Ces deux équations donnent, en choisissant une valeur de R telle que λ_R et T_R puissent être mesurées exactement, des résultats plus précis que l'observation directe, lorsque les galvanomètres ont une durée d'oscillation très peu grande.

Meilleure forme à donner au cadre mobile. — Pour un champ magnétique d'intensité donnée, on a intérêt pour augmenter la sensibilité à augmenter le facteur $n\,b\,l$ du cadre, mais on peut le faire, soit en augmentant le nombre de tours, soit en augmentant h ou l ; toutes ces modifications auront pour résultat

d'élever le moment d'inertie, c'est à dire, à couple de torsion égal, d'augmenter la durée des observations. Il y a une forme de cadre mobile qui donne la sensibilité la plus élevée avec le moment d'inertie le plus faible.

Soit A (fig. 13) la trace d'un élément de circuit de longueur h perpendiculaire au plan de projections, $\mathcal{H}$ la direction du champ magnétique, le moment d'inertie de cet élément par rapport à l'axe de rotation O, sera en appelant ρ_1 la distance OA :

$$h \rho_1^2;$$

à un coefficient près, le moment du couple électromagnétique a pour valeur

$$\mathcal{H}\, h\, I\, \rho_1 \cos\beta;$$

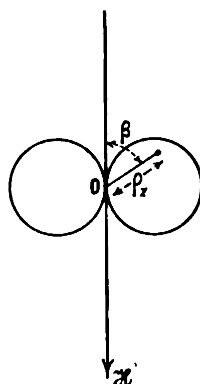


Fig. 13.

l'action spécifique, c'est à dire le rapport entre le couple électrique et le moment d'inertie, sera :

$$\mathcal{H}\, I \frac{\cos\beta}{l_1}$$

Tous les points situés sur une même courbe

$$\frac{\cos\beta}{\rho_1} = \text{constante} \qquad (17)$$

auront la même action spécifique ; à l'intérieur de la couche, l'action spécifique sera plus grande ; à l'extérieur, elle sera moindre. Nous aurons évidemment intérêt à enfermer un volume de fil donné dans une section de cette forme.

L'équation (17) est celle d'un cercle tangent au point O. Comme le même raisonnement s'applique par raison de symétrie aux points situés au-dessous du point O, la section la plus favorable à donner au cadre mobile est celle de deux cercles tangents entre eux, l'axe de rotation passant par le point de tangence.

Cette théorie due à M. Mather a conduit

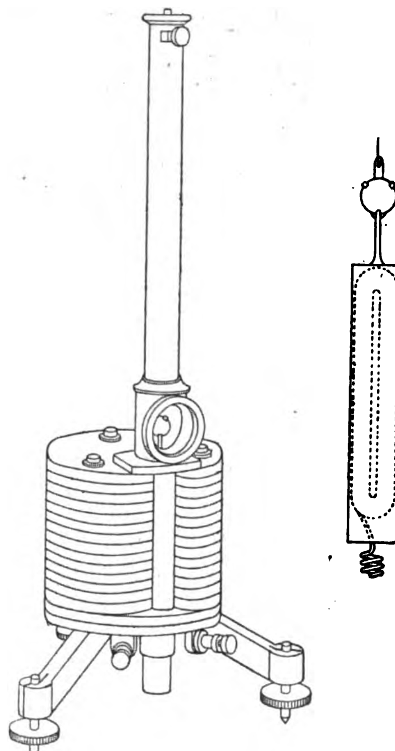


Fig. 14

un certain nombre de constructeurs à adopter la forme indiquée par la figure 14. Avec cette disposition on est conduit, pour augmenter la sensibilité, à employer des fils de suspension de plus en plus fins. M. Ayrton conseille l'usage de *bandes* de métal extrêmement minces et étroites ; on gagne ainsi à section égale sur le couple de torsion et on a, paraît-il, l'avantage d'une torsion résiduelle moins grande.

Nous avons dit que dans certains cas, il était utile d'enrouler le cadre sur une armature métallique fermée sur elle-même pour obtenir l'amortissement indépendamment de la résistance du circuit extérieur ; ce cadre amortisseur doit être fait de préférence en cuivre. Quelques constructeurs le font en alu-

minimum, il y a là une erreur de principe ; ce qu'il faut chercher à atteindre, c'est l'amortissement le plus grand possible

$$b \leq \sqrt{\frac{W}{K}}$$

Or, si nous appelons :

K, mouvement d'inertie de la partie du cadre qui ne concourt pas à l'amortissement ;

ρ, résistivité du métal employé pour le cadre amortisseur ;

$\mathfrak{D}$, densité du même métal ;

a et $\mathfrak{L}$, deux coefficients dépendant de la forme du cadre,

le moment d'inertie peut être exprimé par

$$K = \mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1$$

et la résistance par

$$R = a\,\rho$$

b devient donc :

$$b = \frac{\Phi^2}{2\,a\,\rho(\mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1)}$$

nous devons avoir

$$\frac{\Phi^2}{2\,a\,\rho(\mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1)} \geq \frac{\sqrt{W}}{\sqrt{\mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1}}$$

ou

$$\frac{\Phi^2}{2\,a\,\sqrt{W}} \geq \rho\sqrt{\mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1},$$

L'amortissement est donc d'autant meilleur que $\rho\sqrt{\mathfrak{L}\,\mathfrak{D} + K_1}$ est plus petit. A la limite, pour $K_1 = 0$, c'est à dire pour un cadre dont toutes les parties concourrent à l'amortissement, il y a intérêt à prendre $\rho\sqrt{\mathfrak{D}}$ aussi petit que possible. Si K_1 est très grand, $\mathfrak{D}$ est à peu près indifférent, ce qu'il faut, c'est ρ minimum.

Voici pour le cuivre, l'argent et l'aluminium les valeurs de $\mathfrak{D}$, ρ et $\rho\sqrt{\mathfrak{D}}$.

	$\mathfrak{D}$	ρ	$\rho\sqrt{\mathfrak{D}}$
Argent	10,5	1,6	5,20
Cuivre	8,5	1,6	4,73
Aluminium	2,67	2,9	4,93

L'avantage reste donc au cuivre ; la différence avec l'aluminium n'est pas grande en théorie, mais elle l'est plus en pratique, car il est assez difficile d'obtenir industriellement de l'aluminium ayant la conductibilité maximum. Un autre point à considérer pour les galvanomètres très sensibles, c'est que les cuivres électrolytiques bien choisis ne renferment pas de fer, on ne saurait encore en dire autant de l'aluminium.

Forme des aimants. — La sensibilité des galvanomètres à cadre mobile étant directement proportionnelle à l'intensité $\mathcal{H}$ du champ magnétique dans l'entrefer, on a intérêt à faire celle-ci aussi élevée que possible et en même temps à lui assurer la plus grande constance possible.

L'expérience montre que les meilleurs aimants conservent rarement une intensité d'aimantation $\mathfrak{I}$ supérieure à 600 ou 650 C.G.S. ; il vaut même mieux pour les applications courantes ne compter que sur 4 à 500, ce qui correspond à une *induction maximum*, $\mathfrak{B} = 5000$ à 6250, puisque $\mathfrak{B} = 4\pi\,\mathfrak{I}$. Le flux maximum d'un aimant peut donc être pris égal à 5 ou 6000 S, appelant S les sections droite de l'aimant ; si s est la surface de l'entrefer, et v le rapport du flux utile au flux maximum, on a

$$\mathcal{H} = v\,\mathfrak{B}\,\frac{S}{s}$$

En pratique les dérivations magnétiques font que le coefficient v est très petit, et diminue très rapidement lorsqu'on fait $S > s$, de telle sorte qu'à moins d'employer un aimant de très gros volume, il est difficile d'obtenir $\mathcal{H} > 1000$. Comme exemple nous pouvons citer le syphon recorder dans lequel un champ magnétique de 2500 C. G. S. et d'une surface utile de 8 à 10 cm^2 est obtenu au moyen d'un aimant de 60 kg. avec un coefficient v égal à 0,10 environ. Cependant pour des entrefers extrêmement étroits, on peut obtenir des valeurs de $\mathcal{H}$ plus élevées.

La constance des aimants exige que pour diminuer l'action démagnétisante des pôles, on donne à l'entrefer une faible réluctance comparativement à celle de l'aimant lui-même ; ce résultat s'obtient en faisant $\frac{S}{s} < 1$ et en augmentant la longueur de l'aimant ;

mais cette dernière solution diminue en même temps le rapport v ce qui est défavorable ; il faut choisir selon le cas la meilleure forme à adopter.

La constance n'est pas assurée seulement par la forme. Une condition capitale est la trempe parfaitement uniforme de l'aimant entier ; tous les points mal trempés deviennent à la longue des points neutres ; des pôles conséquents se forment entre eux et agissent en sens inverse du flux utile. De tous les moyens de conservation proposés, un seul est à retenir ; il consiste à aimanter à saturation, puis à diminuer graduellement l'aimantation de quelques dixièmes ; on le place ainsi dans des conditions où les forces démagnétisantes ont moins d'action. Il faut remarquer que les meilleurs aimants ont au début une perte très sensible mais qui devient assez rapidement stationnaire ; le *vieillissement* est en réalité le moyen le plus efficace.

Pour obtenir des déviations proportionnelles aux intensités, il faut que les lignes de force soient toujours dirigées suivant le plan passant par la spire et l'axe de rotation. Avec les galvanomètres à miroir cette condition est facile à réaliser à cause des très petites déviations observées, mais pour ceux à cadran, il est nécessaire de donner à l'entrefer une longueur uniforme dans tous les points ; on obtient ce résultat en creusant les pôles de l'aimant en forme de cylindre et en plaçant au centre un cylindre de fer doux ; dans ces conditions les lignes de force sont à peu près dirigées vers le centre et l'intensité égale dans tous les points ; pour obtenir une proportionnalité plus parfaite, on corrige par tatonnements les formes de l'entrefer ou on fait des divisions légèrement inégales sur le cadran.

Quand la section S devient un peu grande, on a avantage à former l'aimant au moyen de lames plus minces placées les unes à côté des autres ; *cet avantage résulte simplement de la facilité de trempe*, on obtient à la fois une intensité d'aimantation et une permanence plus grandes.

GALVANOMÈTRES DIFFÉRENTIELS.

Si on enroule sur la bobine d'un galvanomètre deux fils parallèles isolés l'un de l'autre, on obtient, avec quelques soins, deux circuits distincts dont l'action sur l'équipage est équivalente ; on peut faire traverser ces deux circuits par deux courants de sens opposés ; dans ce cas, le galvanomètre est appelé *différentiel* ; en effet, il mesure la *différence* de deux courants.

Tous les galvanomètres indistinctement peuvent être construits différentiels, mais en général, on n'arrive pas à un équilibrage absolu des deux circuits et il faut employer des moyens de correction.

Un bon galvanomètre différentiel doit avoir ses deux circuits de résistance égale et leur action sur l'équipage doit être aussi égale que possible pour le même courant ; si on relie les deux circuits en tension, de manière que l'action de l'un soit opposée à celle de l'autre l'équipage doit rester immobile. Le meilleur moyen d'obtenir ce résultat, consiste à enrouler parallèlement les deux fils, aussi régulièrement que possible ; plus le fil est fin, par conséquent, plus grand est le nombre de tours, plus on a de chances d'obtenir l'égalité parfaite d'action ; par contre, la différence de résistance des deux circuits due au manque d'homogénéité du fil, à l'irrégularité du diamètre est plus grande ; pour pallier à ce défaut, il est nécessaire d'ajouter aux galvanomètres différentiels une petite bobine auxiliaire dont la résistance s'ajoute à celle du circuit le plus faible ; cette bobine, enroulée s'il y a lieu sur un petit noyau de laiton, vient se placer dans le centre d'une des bobines du galvanomètre et sert en même temps à corriger la différence d'action des deux circuits.

Dans les galvanomètres Thomson auxquels cette disposition a été appliquée, la bobine de compensation, placée dans la bobine supérieure du galvanomètre, peut avancer dans le centre de celle-ci, de façon à régler son action suivant le cas. Il est nécessaire de dire que dans les galvanomètres genre Thomson,

à 4 bobines et équipage astatique, la différence d'action des deux circuits n'est pas la même dans chaque bobine et il suffit d'une petite variation dans le moment magnétique d'un des aimants, pour changer l'équilibre des deux circuits, c'est pourquoi il est nécessaire de rendre la bobine de compensation mobile, *le réglage devant se faire chaque fois qu'on doit se servir de l'instrument.*

La disposition différentielle s'applique très facilement aux galvanomètres à cadre mobile. il suffit d'enrouler le cadre avec deux fils parallèles, mais il faut alors 4 fils pour l'entrée et la sortie du courant et le système est alors un peu différent de celui de la figure 12. Un bifilaire formé de deux fils bien isolés l'un de l'autre, suspendu à la partie supérieure à un rappel, soutient le cadre, pendant qu'un second bifilaire à la partie inférieure est tendu par un ressort. Cet instrument qui est, par construction, plus exactement différentiel que le Thomson, est d'un emploi assez délicat : il est difficile de donner aux deux fils de chaque bifilaire des tensions égales, en outre le couple total et par suite la sensibilité changent avec la tension du ressort. L'action des deux circuits est presque toujours égale à $<$ 0,1 pour 100 près, de telle sorte qu'on n'a pas réservé de moyen de réglage.

Un point très délicat et très important dans les galvanomètres différentiels. c'est l'isolement des deux circuits. Cet isolement doit augmenter avec la sensibilité du galvanomètre, car autrement la faible fraction du courant dérivée au travers de l'isolant pourrait causer des erreurs. Cette condition est non seulement difficile à remplir au début, mais encore à conserver ; elle est peut-être avec la nécessité des réglages fréquents, celle qui limite le plus la généralisation de la méthode différentielle ; celle-ci a été surtout employée en Allemagne et paraît abandonnée de plus en plus.

Les deux fils des galvanomètres différentiels, sont très voisins l'un de l'autre, ils ont une *induction mutuelle* et une *capacité électrostatique* qui sont par fois très élevées ; il est bon de se rappeler ce fait qui peut causer des perturbations considérables pendant la période variable du courant.

Tout ce que nous avons dit de la sensibilité des galvanomètres, s'applique aux galvanomètres différentiels, soit aux circuits isolés, soit à leur ensemble.

GALVANOMÈTRES BALISTIQUES

Jusqu'ici nous avons toujours considéré l'effet produit par le passage d'un courant *continu* dans un galvanomètre et la *déviation permanente* qui en résulte, mais on se sert aussi de ces appareils pour mesurer des *quantités* d'électricité dont le passage très court imprime néanmoins une déviation *instantanée* au mobile.

Quel que soit le galvanomètre employé, la force qui agit sur l'équipage mobile est de la forme G I, (il suffit, comme nous l'avons vu, de remplacer G par Φ dans le cas du galvanomètre à cadre mobile), nous pouvons donc écrire l'équation du mouvement

$$K\frac{d^2\alpha}{dt^2}+A\frac{d\alpha}{dt}+W\alpha=GI.$$

Supposons un galvanomètre traversé, pendant un temps t très petit, par un courant I ; la *quantité* d'électricité qui a passé est : $\int I\,dt=q$. Mais comme nous avons pris le temps t très court, si le galvanomètre est au repos à ce moment, la déviation α est nulle, donc $W\alpha=0$. Remplaçons maintenant la vitesse $\frac{d\alpha}{dt}$ par sa valeur ω, et intégrons par rapport à t, nous avons

$$\int\left(K\,d\omega+A\,\omega\,dt\right)=G\int I\,dt.$$

ou

$$K\omega_0=G\,q$$

car $A\int\omega\,dt=A\,\alpha=0$. Au moment considéré, le mobile est au repos et $t=0$, ω_0 représente la vitesse initiale; il suffit donc de connaître ω, pour en déduire q. Nous avons trouvé précédemment la valeur de l'élongation maximum ε en fonction de ω_0 et de l'amortissement, en introduisant $\omega_0=\frac{G}{K}q$ dans les équations (12) et (14) (t. VII, p. 400), et en rempla-

çant K par sa valeur tirée de T_0 quantité mesurable en fonction de T et λ, ainsi que $\frac{G}{W}$ par la valeur correspondante $\frac{\alpha}{I}$, il vient

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{I}\frac{\pi}{T_0} q, \qquad (18)$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{I}\frac{\pi}{T_0} q e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\lambda}}, \qquad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{I}\frac{\pi}{T_0} q \frac{1}{e}. \qquad (20)$$

L'équation (18) s'applique au cas où l'amortissement est nul, c'est l'équation (19) dans laquelle on a fait $\lambda = 0$; l'équation (20) s'applique à l'amortissement critique.

Nous pourrions également donner l'équation correspondante pour $b > \frac{\pi}{T_0}$, mais elle est inutilement compliquée et ne permet d'obtenir des résultats qu'au moyen de calculs très longs; nous nous contenterons de dire qu'elle prouve comme les précédentes que : *pour toutes les valeurs de l'amortissement*, une décharge de durée infiniment petite par rapport à l'oscillation du galvanomètre donne une élongation *toujours proportionnelle à la quantité q*.

Les équations (18), (19) et (20) montrent en outre qu'il est toujours possible de mesurer une *quantité d'électricité* par comparaison avec un *courant constant d'intensité connue* I produisant une *déviation permanente* α. Ces 3 équations renferment simplement le rapport $\frac{\varepsilon}{\alpha}$ de deux angles (dans les limites où la proportionnalité subsiste), on peut remplacer les angles ε et α par la déviation d et l'élongation ε *exprimés en divisions de l'échelle*, sans avoir à tenir compte de la valeur absolue des angles, on peut donc écrire par exemple

$$\varepsilon = \frac{d}{I}\frac{\pi}{T_0} q.$$

L'équation (18) est la formule classique du galvanomètre balistique en vertu de cette idée longtemps admise qu'il n'est possible de comparer des élongations que lorsqu'il n'y a pas d'amortissement. Cette condition peut être à peu près remplie, mais dans la pratique, elle nécessite des précautions beaucoup plus grandes ; il faut éloigner du galvanomètre toutes les causes de perturbation, car, malgré l'emploi des courants axiliaires, lancés dans le circuit pour arrêter les oscillations, il est difficile de faire des mesures un peu rapides ; dans l'usage courant, *même pour les expériences très précises*, il est préférable d'employer un galvanomètre faiblement amorti, *pourvu que son amortissement reste constant ;* les galvanomètres amortis faiblement par l'air, ou les galvanomètres à cadre mobile fermés sur une grande résistance sont dans ce cas. Enfin, avec ces derniers, on peut faire la résistance du circuit égale à la résistance critique d'amortissement et faire usage de la formule très simple (20) ; il suffit de déterminer très exactement R_c et T_0 ; nous verrons plus loin qu'on peut y arriver très facilement.

Losqu'on veut faire simplement des mesures de comparaison, il n'est plus nécessaire de tenir compte de l'amortissement, il vaut mieux alors pour obtenir des mesures rapides, se mettre, toutes choses égales d'ailleurs, dans les conditions de l'amortissement critique puisque nous avons vu que ce sont celles qui donnent le retour au zéro le plus rapide. La condition de maintenir l'amortissement constant oblige, lorsque l'emploi des shunts est nécessaire, à se servir de la disposition dans laquelle la résistance totale du circuit du galvanomètre reste constante.

Pour les mesures absolues, les équations (18) et (20) offrent des calculs faciles ; il n'en est pas de même de (19), or, c'est la plupart du temps cette équation qui est applicable. On a cherché a simplifier l'expression pour faciliter les calculs ; la première solution consiste à remplacer le facteur

$$e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arc\,tg}\frac{\pi}{\lambda}}$$

par le 1er terme de son développement en série

$$1 + \frac{\lambda}{2}$$

Dans la seconde solution, on considère

l'amplitude des oscilllations comme décroissant en progression *arithmétique* et on calcule la grandeur qu'aurait dû avoir l'élongation ε, sans amortissement, en observant les 2 premières élongations ε_1, et ε_2 du *même côté*; on a alors

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{4}.$$

Cette dernière expression est évidemment plus simple ; elle dispense du calcul de λ, mais elle ne s'applique que pour de très faibles amortissements. Le tableau suivant permet de choisir le terme de correction à employer suivant la précision nécessaire et l'amortissement. Pour rendre les résultats plus comparables et de la forme $1 + \Delta$, nous avons divisé la 3e formule par ε_1,

ε_1	A	B	C
λ	$e^{-\frac{\lambda}{\pi}\operatorname{arctg}\frac{\pi}{\lambda}}$	$1+\frac{\lambda}{2}$	$1+\frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{4\varepsilon_1}$
0,050		1,0250	1,0238
0,100		1,0500	1,0453
0,157		1,0785	1,0674
0,314	1,1585	1,1571	1,1166
0,628	1,3171	1,3141	1,1788
0,942	1,4677	1,4712	
1,256	1,6100	1,6283	
1,570	1,7399	1,7854	
1,884	1,8554	1,9424	
2,199	1,9320	2,0995	

Ce tableau montre que jusqu'à $\lambda = 0,5$, l'erreur commise *par défaut* ne dépasse pas 0,2 pour 100 en prenant (B) au lieu de (A) ; si l'on se contente de la précision, très suffisante dans beaucoup de cas, de 0,5 pour 100, on peut encore se servir de cette formule simplifiée; jusqu'à $\lambda = 1,0$ l'erreur est alors en excès. Avec l'expression (C), il ne faut guère dépasser $\lambda = 0,1$ sans quoi l'erreur dépasse rapidement 1 pour 100.

Tout ce que nous venons de dire s'applique exclusivement au cas où la durée de la décharge est infiniment petite ; pour se rapprocher de cette condition limite, *on cherche toujours à rendre les oscillations des galvanomètres balistiques aussi longues que possible par rapport à la durée de la décharge.*

Ceci s'obtient facilement avec les décharges des condensateurs ainsi qu'avec les courants induits *dans les circuits sans fer* ; dans ces deux cas en effet, l'intensité du courant de décharge nulle au début, atteint très rapidement son maximum pour baisser ensuite très rapidement, de telle sorte que la quantité q passe à travers le galvanomètre pendant un temps infiniment petit.

L'introduction du fer dans une bobine augmente la *constante de temps* $\frac{L_s}{R}$ et, par suite la durée mathématique de la décharge, elle l'augmente aussi dans une proportion inconnue par suite de l'hystérésis. Dans ces conditions, la durée peut être très longue, l'élongation du galvanomètre est plus petite que si la quantité q avait passé en un temps très court.

Le calcul permet de déterminer l'erreur due à cette cause lorsque la fonction qui relie l'intensité du courant au temps est connue. En pratique, cette fonction est inconnue ; on peut avoir une indication de la grandeur de l'erreur commise en supposant que la quantité q est fournie par un courant constant d'intensité I et de durée t_1 ; dans ces conditions, si t_1 est plus grand que T, l'élongation est celle que l'on obtient à la fermeture du galvanomètre sur un circuit parcouru par un courant continu.

$$\varepsilon = \alpha_\infty \left(1 + e^{-\lambda}\right)$$

α_∞ est la déviation permanente produite par le courant I ; on voit par là que l'élongation est comprise entre 1 et 2 fois la déviation permanente. Cette formule montre pourquoi dans les méthodes de réduction à zéro, les galvanomètres non amortis paraissent plus sensibles, l'élongation étant double de la déviation. Lorsque t_1 est plus petit que T, il est intéressant de connaître le rapport $\frac{t_1}{T}$ qui donne une erreur déterminée ; le rapport varie avec l'amortissement. L'erreur est inférieure à 1 pour 100 quand

$$t_1 \leq \frac{T_0}{6,4}$$

pour un amortissement nul, et

$$t_1 \leq \frac{T_0}{78}$$

pour l'amortissement critique. Cette différence considérable explique pourquoi dans les mesures précises, on cherche à avoir un amortissement faible ; toutes choses égales d'ailleurs, la durée inconnue de la décharge intervient moins pour fausser le résultat. Ces formules s'appliquant à un courant continu, donnent une limite *maximum* de l'erreur commise ; l'expérience montre qu'une oscillation de 1 seconde est souvent suffisante pour les condensateurs ou les bobines sans fer ; avec du fer, pour les mesures courantes il faut 5 à 10 secondes, enfin quand le volume

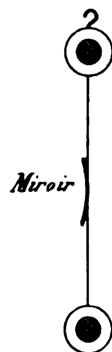


Fig. 15.

de fer est très grand et que le circuit magnétique est fermé, on n'est jamais sûr d'obtenir des résultats précis. D'autre part, les élongations sont assez difficiles à observer avec des durées d'oscillations inférieures à 4 ou 5 secondes; il vaut donc mieux, pour un galvanomètre balistique, dépasser cette durée.

L'amortissement par l'air n'est pas assez régulier pour les mesures exactes, on cherche à remédier à ce défaut en faisant des équipages spéciaux pour les galvanomètres genre Thomson destinés à servir comme balistiques. L'équipage de la figure 15 est composé de deux faisceaux d'aimants, enfermés chacun dans la cavité cylindrique d'une sphère en plomb ou en laiton ; les deux sphères sont réunies par une tige portant le miroir ; par cette disposition le moment d'inertie total est augmenté et la résistance de l'air diminuée, le système est très faiblement et très régulièrement amorti. L'augmentation du nombre d'aimants dans chaque faisceau élève le moment magnétique et permet de corriger en partie la diminution de sensibilité balistique due au moment d'inertie. On obtient l'arrêt des oscillations en lançant dans le

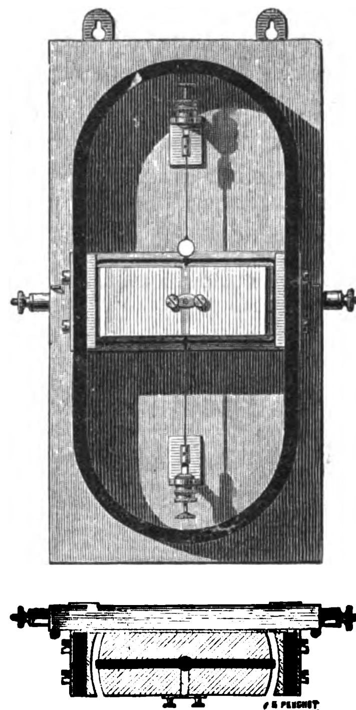


Fig. 16.

galvanomètre lui-même ou dans une bobine auxiliaire, un courant de sens convenable.

Les galvanomètres à cadre mobile peuvent être employés comme balistiques dans tous les cas possibles, car leur amortissement est très régulier, mais on est presque toujours obligé d'augmenter leur durée d'oscillation.

Avec un galvanomètre ordinaire, on peut faire un bon balistique en chargeant le cadre mobile d'un poids assez faible mais ayant un grand moment d'inertie ; la sensibilité balistique diminue quand l'oscillation augmente de durée; l'amortissement diminue également. On peut aussi changer les fils de supension, dans ce cas la sensibilité et l'amortissement augmentent avec l'oscillation.

Une meilleure solution consiste à rendre plus grand le moment d'inertie en augmentant le nombre de tours de fil et les dimensions géométriques du cadre ; le galvanomètre (fig. 16) est construit dans cette intention. Le cadre mobile de grandes dimensions à son plus long côté horizontal, la forme des aimants a été un peu modifiée pour permettre de placer le cadre, deux lames semblables en U sont réunies pour former deux pôles conséquents. La durée d'oscillation est d'environ 7 à 8 secondes ; la sensibilité balistique est telle qu'un microcoulomb donne à *circuit ouvert* une élongation de 40 à 50 mm sur une échelle placée à 1 mètre ; enfin la résistance d'amortissement critique est environ 4 000 ohms, soit 8 fois celle du cadre.

(à suivre) A. ARMAGNAT.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Commutateur-régulateur Siemens et Halske.

La manœuvre d'un commutateur, soit pour la mise en marche, soit pour faire varier la vitesse d'un moteur, provoque généralement des étincelles. L'appareil suivant à été imaginé dans le but de remédier à cet inconvénient en intercalant automatiquement une résistance dans le circuit, immédiatement avant la séparation des contacts. A ce dessein, l'axe du commutateur de courant est relié mécaniquement à l'axe du commutateur du rhéostat de telle façon que chaque mouvement imprimé au premier agit sur le second qui intercale la résistance. L'appareil est disposé comme le montre la figure 1. A l'intérieur d'un cadre métallique A, se trouvent deux axes B et C ; le premier commande le commutateur, et est actionné par une manivelle D, placée à l'extérieur du cadre ; le second, affecté au rhéostat, est commandé par un petit volant à main E. Le commutateur proprement dit, se compose d'un certain nombre de leviers de contact F, qui, sous l'action d'un ressort G, viennent presser sur les contacts fixes H (fig. 3). L'axe B porte des cames J qui, par la rotation de l'axe, viennent appuyer transversalement sur les leviers de contact de façon à rompre le circuit au point H. Ces cames sont disposées autour de l'axe de manière à ce que leur action corresponde à une position définie de la manivelle et que les contacts nécessaires soient ouverts ou fermés pour réaliser l'ordre voulu des connexions des circuits.

En supposant, par exemple, qu'on ait deux moteurs à relier, soit en série, soit en parallèle, on peut employer la disposition que montre la figure 2. Quand la manivelle occupe la position 1, tous les contacts sont ouverts, et, par conséquent, les deux moteurs sont hors du circuit ; à la position 2, les moteurs se trouvent reliés en série et fonctionnent pour la marche avant ; à la position 3 ils sont en parallèle et agissent comme frein ; enfin à la position 5, le courant est renversé et les moteurs, remis en série, tournent pour la marche arrière.

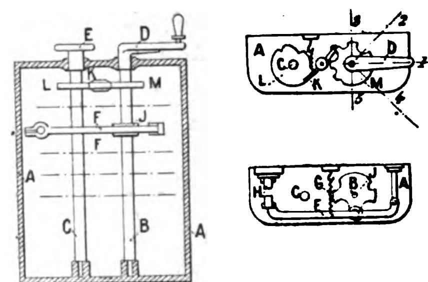


Fig. 1 à 3. — Commutateur régulateur *Siemens* et *Halske*.

L'axe C, commande, d'une façon analogue à l'axe D, un nombre de leviers de contacts dont le déplacement est opéré par des cames ; chacun des leviers correspond à une série de spires du rhéostat qui est intercalée dans le circuit par la rotation de C. Ce dernier axe, en tournant, tend un ressort en spirale qui le ramènerait dans sa position première, s'il n'en était empêché par un cliquet qui s'engage dans l'une des dents d'une roue à rochet L, montée à l'extrémité de l'axe C. Le mou-

vement de ce cliquet est commandé par un disque M portant plusieurs crans à sa périphérie et fixé sur l'axe B. Lorsque la manivelle occupe une ou l'autre des position de 1 à 5, l'une des extrémités du cliquet vient s'engager dans l'un des crans du disque M, pour maintenir la roue à rochet de l'axe C dans une position correspondante. Si, d'autre part, D est changé de position pour en occuper une suivante, avant d'atteindre cette dernière, le mouvement du disque à crans M fait déclancher le cliquet de la roue à rochet; par suite le ressort à spirales rappelle brusquement C, qui met toute la résistance dans le circuit. On peut, au moyen du volant E, augmenter le couple des moteurs en supprimant à la main une ou plusieurs sections du rhéostat de régulation. Mais dès que les connexions sont changées par la rotation de D, les résistances qui avaient été supprimées sont de nouveau intercalées automatiquement dans le circuit, empêchant par ce fait les étincelles de se produire. Cet appareil est également applicable aux électromoteurs dont l'enroulement du champ est divisé en sections pouvant être reliées soit en série, soit en parallèle.

L. D.

Mesure de l'énergie électrique dépensée pour actionner diverses machines-outils pour le travail du bois.

Une série d'essais viennent d'être effectués dans les chantiers de la marine, à Washington, sur un grand nombre de machines-outils servant à travailler le bois et actionnées par des moteurs électriques. L'emploi des moteurs électriques se généralisant de plus en plus, nous croyons utile de donner les résultats qui ont été obtenus, d'après le rapport du professeur O. G. Dodge [1].

Scie circulaire : diamètre, 71 cm ; vitesse, 1 200 révolutions, soit 2 640 m par minute ; diamètre de la poulie, 13,21 cm ; largeur, 20,2 cm. L'avancement de la pièce à découper se fait à la main ; le moteur est couplé par courroie à l'axe de la scie.

Puissance absorbée par le moteur et la scie à vide	3,4 chx.
Sciant une pièce de bois (cœur de chêne) de 192 mm d'épaisseur; avancement 3 m par minute	19,3 »

Scie circulaire : diamètre, 60,9 cm ; vitesse, 1 500 tours ou 2 828,70 m par minute ; avancement à la main. Le moteur est couplé par courroie à une poulie de 17,1 cm de diamètre clavetée sur l'axe de la scie.

Puissance absorbée à vide	3,2 chx.
Sciant, comme la précédente, du cœur de chêne de 163,8 mm d'épaisseur, avec un avancement de 3 m par minute	12,8 »
du sapin blanc de 163 mm ; avancement 4,3 m par minute	9,4 »
du sapin jaune de 50,6 mm ; avancement 13,5 m par minute	10,7 »

Scie circulaire : diamètre, 35,4 cm ; vitesse, 2 200 tours ou 2 420,10 m par minute. Diamètre de la poulie d'arbre, 7,59 cm ; largeur, 12,65 cm. L'avancement se fait à la main. Le moteur est couplé à l'arbre de la scie par une courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide	0,96 chx.
» » avec la scie »	2,7 »
Sciant du cœur de chêne ; épaisseur 88,6 mm; avancement 3,6 m par minute	6,3 »

Scie circulaire : diamètre, 30,3 cm ; vitesse, 2 200 tours ou 2 074,20 m par minute ; avancement à la main ; diamètre de la poulie, 8,86 cm ; largeur, 7,59 cm. Le moteur est couplé par une courroie à une poulie de 8,86 cm de diamètre clavetée sur l'arbre de la scie ; cette dernière reçoit un mouvement ondulatoire pour découper des entailles.

Puissance absorbée par le moteur à vide	0,96 chx.
» » avec la scie »	2,2 »
Découpant dans du noyer des entailles de 0,9? × 2,17 cm ; avancement 3,6 m par minute	3,6 »

Scie à ruban : diamètre des poulies, 182 cm ; vitesse, 160 tours ou 905,10 m par minute ; diamètre de la poulie de transmission, 75,9 cm ; largeur, 20,4 cm. Avancement mécanique ;

---

[1] *The Electrical Engineer*, t. XXII, p. 152 ; 12 août 1896.

le moteur est couplé par courroie à la poulie d'arbre de la scie.

Puissance absorbée par le moteur et la scie à vide	12,1 chx.
Sciant une pièce de bois de hêtre sec 261 mm d'épaisseur ; avancement 1,80 m par minute	16,1 »
de sapin blanc de 417 mm ; avancement 3 m par minute	16,1 »
de sapin rouge de 303 mm ; avancement 6 m par minute	18,8 »

Scie à ruban : diamètre des poulies, 106 cm ; vitesse, 350 tours ou 1 155 m par minute ; diamètre de la poulie de transmission, 40,48 cm ; largeur, 20,5 cm. Avancement à la main ; transmission par courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
» » avec la scie »	2,9 »
Sciant une bille de chêne sec de 303 mm d'épaisseur; avancement 0,90 m par minute	5.7 »
Sciant transversalement une bille de chêne sec ; avancement 1,50 m par minute	5.7 »
Sciant du chêne vert de 253 mm d'épaisseur ; avancement 0,95 m par minute	5,7 »

Scie à ruban : diamètre des poulies, 70 cm ; vitesse, 480 tours ou 1 056 m par minute ; diamètre de la poulie de transmission, 30,3 cm ; largeur, 8,8 cm. Avancement à la main ; transmission par courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
» » avec la scie »	1,7 »
Sciant une bille de chêne sec de 75 mm d'épaisseur ; avancement 0,75 m par minute.	2,3 »
de sapin sec de 75 mm d'épaisseur ; avancement 1,20 m par minute	2,3 »
Sciant transversalement une bille de chêne sec de 83 mm d'épaisseur ; avancement 1,20 m par minute	2,3 »

Raboteuse Daniel : surface de la table, 72,5 cm sur 645 cm ; poulie de transmission de 32,8 cm de diamètre et 13,1 cm de large ; vitesse angulaire, 350 tours ; vitesse des lames du rabot, 3 120 m par minute ; avancement mécanique de 3,6 m par minute. Le moteur est couplé par une double transmission par courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
» » avec la machine à vide .	3,9 »
Rabotant une planche de chêne sec ; épaisseur des copeaux 4 mm, largeur 506 mm ; avancement 3,6 m par minute	6,2 »

Cylindre varlope : dimension de la machine, 60 cm ; diamètre de la poulie de transmission, 10,1 cm ; largeur, 12,5 cm ; vitesse angulaire, 3 200 tours ; vitesse des lames coupantes, 1 200 m par minute ; avancement mécanique ; le moteur est couplé par courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
» » avec le cylindre à vide.	2,4 »
Rabotant une planche de sapin blanc ; épaisseur des copeaux 0,2 mm ; avancement 7,50 m par minute	4,8 »

Cylindre varlope : même dimension que le précédent ; diamètre de la poulie de transmission, 12,5 cm ; largeur, 12,5 cm ; vitesse angulaire, 2 250 tours ; vitesse des lames coupantes, 9,315 m par minute ; avancement mécanique ; le moteur est couplé par courroie.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
» » avec le cylindre à vide.	2,4 »
Rabotant une planche de sapin ; copeaux de 1,5 mm d'épaisseur et 455 mm de largeur ; avancement 3,3 m par minute	3,6 »
Rabotant une planche de chêne ; copeaux de 1,5 mm d'épaisseur et 164 mm de largeur ; avancement 3,3 m par minute	3,6 »

Tarière : vitesse, 375 tours par minute ; avancement à la main ; le moteur est couplé par courroie à l'axe de l'outil.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
Avec la tarière à vide	1.9 »
Forant des trous de 10 cm de diamètre dans une bille de chêne sec ; avancement 2 88 m par minute	2,3 »

Tarière : diamètre de la poulie de transmission, 20 cm ; largeur, 7,5 ; avancement à la main ; le moteur est couplé par courroie.

Puissance absorbée avec le moteur à vide..	0,96 chx.
Avec la tarière à vide	1,9 »
Forant des trous de 25 mm de diamètre dans une bille de chêne ; avancement 10 cm par 5 secondes	2,2 »
Dans la même pièce ; des trous de 30 mm de diamètre ; avancement 2,5 cm en 7 secondes	2,2 »

Tour horizontal : vitesse, 888 tours par minute ; le moteur est couplé par courroie à l'axe du tour.

Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
Actionnant le tour à vide	2,0 »

Tournant une bille de peuplier de 55 cm de diamètre ; épaisseur des copeaux 17 mm.	3,2 »
Puissance absorbée par le moteur à vide...	0,96 chx.
Avec l'outil à vide........................	2,8 »
Creusant des rainures de 50 mm de large et 18 mm de profondeur dans du sapin ; avancement 0,95 m par minute	3,9 »

L. D.

Disposition pour le dénombrement des conversations téléphoniques, par J. H. West (1).

Le système des taxes d'abonnement au téléphone tel qu'il est aujourd'hui presque universellement en vigueur, a été l'objet de nombreuses critiques qui lui reprochent généralement de ne pas tenir compte du degré d'utilisation de chaque poste et par conséquent des frais occasionnés par chaque abonné. Les abonnés qui font le moins fréquemment usage de leurs appareils se trouvent ainsi pécuniairement surchargés au profit des affairés, ce qui ne peut qu'être défavorable à l'extension du téléphone.

Les partisans du système de taxation actuel sont rares, et sans reprendre une discussion

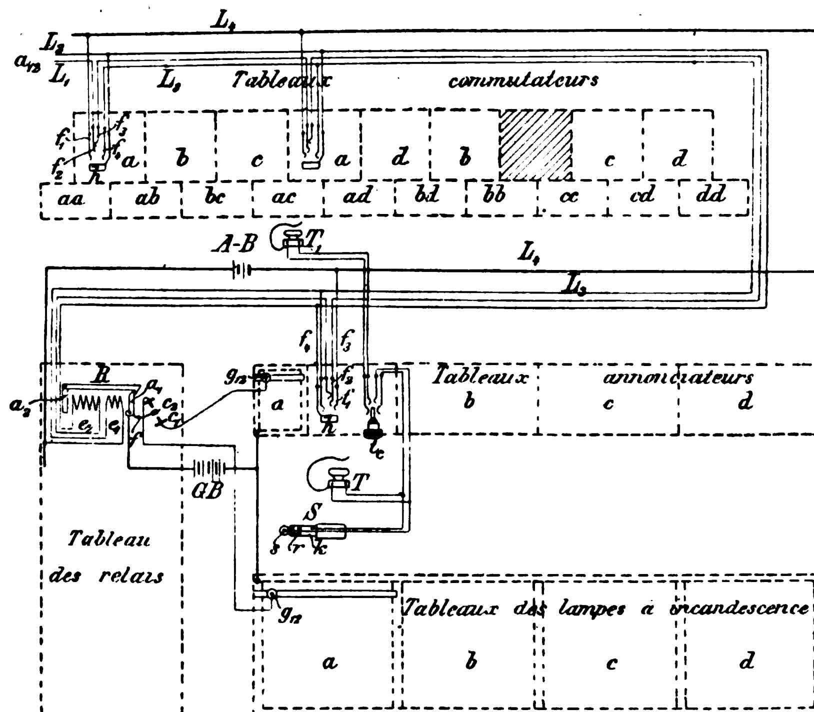


Fig. 1.

déjà maintes fois développée (2), il suffit de faire remarquer qu'il n'existe pas jusqu'à présent de système compteur approprié, indispensable si la base des taxes téléphoniques doit être le nombre de conversations. Les compteurs construits jusqu'à ce jour sont ou trop compliqués et coûteux, ou ils ne répondent qu'insuffisamment aux conditions posées dont l'une des plus essentielles est la différenciation à observer entre les appels sans résultat effectif et les mises en communication réalisées.

Les dispositions simples remplissant ces conditions ralentissent toutes le service et augmentent par conséquent non seulement les frais de service, mais aussi le coût du matériel, en exigeant un personnel plus nombreux. C'est précisément pourquoi le système suisse, consistant à charger les employés de noter les appels suivis de mise en relation, n'est pas recommandable. Tous les systèmes

(1) *Elektrotechniche Zeitchrift*, 27 Août 1896.
(2) Voir la *Lumière Électrique*, t. LI, p. 601 et t. LII, p. 163.

de dénombrement proposés présentent donc l'inconvénient d'augmenter dans une mesure appréciable les frais d'installation et du service ; or, tout renchérissement notable diminue la valeur d'usage du téléphone.

Le montage récemment décrit pour les bureaux organisés sur le principe des combinaisons (¹), permet d'obtenir de la manière la plus simple, *le comptage automatique des communications effectuées*, sans charger le service, et en ne grevant les frais d'installation que de 4 à 5 francs par abonné, prix d'un compteur actionné par un simple électroaimant.

Si dans la figure 1 (fig. 2, de la page 267, du numéro du 8 août), on intercale un électroaimant, dans la ligne L_1, à l'endroit où cette lettre est indiquée, cet électro est actionné, ainsi qu'on le voit par l'étude des circuits, chaque fois qu'une fiche est insérée dans un des jacks des *tableaux commutateurs*. Il n'entre, au contraire, pas en action quand une fiche est insérée dans le jack correspondant du *tableau annonciateur*. Le compteur que cet électro met en mouvement ne comptera donc que le nombre des liaisons réellement établies, mais non les appels restés sans effet.

Il est vrai que dans cette disposition la conversation est comptée à la fois à l'abonné appelant et à son correspondant ; le prix par conversation est donc à répartir entre les deux interlocuteurs. Cette circonstance paraît devoir être avantageuse, car une des objections les plus souvent produites contre l'emploi de compteurs, c'est que la plupart des abonnés feraient moins usage du téléphone si chaque communication particulière demandée était portée sur leur note d'abonnement ; une telle limitation de l'usage des appareils aurait facilement pour conséquence un résultat financier défavorable de l'exploitation. Quoique l'auteur ne soit pas d'avis qu'il y ait beaucoup de craintes à avoir dans ce sens — l'expérience des services postaux est là pour les combattre — il admet naturellement la nécessité de réduire au minimum la taxe par communication.

(¹) L'*Éclairage Électrique* du 8 Août, p. 267.

Suivant les calculs de l'auteur, on peut admettre qu'un prix d'abonnement fixe de 40 à 50 francs par an, plus une taxe de 5 centimes par conversation couvrirait largement la totalité des frais. Mais comme dans le système proposé les conversations sont comptées deux fois, les abonnés auraient à payer la somme fixe sus-indiquée, plus une taxe de 2,5 centimes par conversation. Cette dernière somme est si minime que nulle personne ayant fait l'acquisition d'un poste téléphonique en tiendrait compte au point de restreindre l'usage de ce moyen de communication.

Au reste, la disposition pourrait être telle que les appels avec mise en relation subséquente ne fussent comptés qu'à l'abonné appelant ; il suffirait en effet, de munir le compteur d'un second électroaimant, lequel, intercalé dans le fil reliant la ligne L_1 au ressort f_1 du jack h du tableau annonciateur, serait disposé de telle manière, par rapport au premier, que l'armature de celui-ci ne pourrait être actionnée, quand l'armature du second serait attirée ; ce dernier cas ne se produit que pour l'appareil de l'abonné appelant ayant son jack du tableau annonciateur bloqué par une fiche ; le compteur de l'abonné appelé n'entre donc pas en fonction lorsqu'une fiche est insérée dans son jack.

Abstraction faite de la plus grande complication de cette dernière disposition, l'auteur juge préférable, pour les raisons données, de compter les communications aux deux abonnés, appelant et appelé. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Règle mnémonique pour la détermination des directions dans le champ électromagnétique, par L. Zehnder (¹).

1. *Circuits fermés*. — La règle s'applique dans tous les cas seulement aux lignes de

(¹) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 459.

force qui traversent l'intérieur du circuit. Selon la définition généralement adoptée actuellement, surtout dans l'électrotechnique, l'auteur attribue le signe +:

1° A la direction des lignes de force qui émanent du pôle nord d'un aimant ;

2° Au déplacement de l'électricité positive dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre ;

3° A l'augmentation du nombre de lignes de force ou à la production de lignes de force.

La règle générale s'énonce dans ce cas de la manière suivante :

Pour déterminer un courant induit, il faut prendre les trois signes —; pour les autres déterminations, il faut prendre les trois signes +.

Remarque. On ne change pas le résultat en changeant simultanément deux signes.

Applications. — Direction des lignes de force dans le champ magnétique d'un courant (+++) ou (——+). Un courant positif produit des lignes de force dirigées dans le sens positif dans l'intérieur du circuit.

Courant induit dans un champ magnétique (———) ou (++—): une augmentation des lignes de force dirigées dans le sens positif provoque un courant induit circulant dans le sens négatif.

Direction de la force pondéromotrice dans le champ magnétique (+++): le mouvement se produit de manière que le nombre des lignes de force dirigées dans le sens positif augmente dans l'intérieur d'un circuit où passe un courant dans le sens positif.

Un circuit solide se meut en bloc ; un conducteur élastique peut s'élargir ou se rétrécir.

2. *Eléments de conducteur.* — En partant de cette idée qu'il n'existe que des courants fermés, on peut raisonner sur les éléments de conducteurs comme sur les circuits et on arrive à la règle suivante :

En mettant à la suite l'un de l'autre les éléments de conducteur soumis à la même influence, on forme un circuit complémentaire auquel on applique la règle générale. S'il existe un axe magnétique ou toute autre ligne de complète symétrie, on reconnaîtra tout de suite le circuit complémentaire qu'il faut imaginer.

Il faut, d'après la théorie de Faraday et Maxwell, traiter l'induction voltaïque comme un cas particulier de l'induction magnéto-électrique. Si on considère deux fils parallèles comme les portions de deux circuits concentriques de très grand rayon, on déduit aisément de la règle générale les lois d'Ampère sur l'attraction et la répulsion de deux courants parallèles.

M. L.

Aimantation d'une sphère dans un champ magnétique uniforme, par O. Grotrian (1).

Suivant la théorie de Poisson, une sphère ou un ellipsoïde de révolution en fer doux, placé dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont primitivement parallèles à l'axe doit prendre une aimantation uniforme et les lignes d'induction rester parallèles entre elles dans l'intérieur du fer. Cette conséquence de la théorie a été vérifiée par les expériences de Fromme, qui, en mesurant par la méthode des déviations l'intensité d'aimantation de quatre sphères de différente grosseur, a trouvé la même valeur. Cependant ce résultat pourrait s'expliquer en admettant seulement que les aimantations de ces sphères sont semblables géométriquement sans être nécessairement uniformes.

Les expériences rapportées dans le présent Mémoire ont été effectuées par la méthode balistique, en déterminant le flux d'induction qui traverse une boucle de fil fin, appliquée exactement sur la surface d'une sphère. La sphère a été choisie de préférence à l'ellipsoïde, pour permettre de faire l'expérience dans toutes les directions, sans avoir besoin de boucles elliptiques difficiles à réaliser exactement.

Le champ magnétique employé est le champ intérieur d'une bobine, placée verticalement ; le courant qui alimente la bobine est fourni par des accumulateurs et traverse un rhéos-

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 751.

tat qui sert à en régler l'intensité et un galvanomètre disposé en dérivation qui sert à la mesurer ; un commutateur permet de renverser le sens du courant. La sphère se trouve dans le milieu de la bobine ; elle repose sur les bords d'une calotte sphérique creusée sur le tour dans un bloc de bois H_2 ; ce bloc est encastré dans un autre H_1 qui s'appuie directement sur le socle de la bobine (fig. 1). La boucle de fil est logée dans une étroite rainure ; cette rainure a été pratiquée dans le bord d'une calotte pareille à la première et creusée dans un autre bloc S centré sur un anneau de bois H_3 qui glisse à frottement dur dans la bobine (fig. 2 et 3). Les prolongements du fil passent dans une rainure tracée sur la surface de S parallèlement aux génératrices, pour aboutir à deux bornes k et k_1. Pour faire les expériences après avoir enlevé la sphère, on place le bloc S sur un autre H_4, creusé de manière à laisser libre la boucle dans l'intervalle (fig. 4) et on entre ensuite la pièce H_4 dans la bobine, jusqu'à ce qu'elle prenne la place qu'occupait H_3.

Aux bornes k et k_1 sont attachés les fils qui conduisent au galvanomètre balistique de Du Bois et Rubens, le circuit renferme encore un commutateur et un rhéostat.

La bobine est enroulée sur une carcasse en zinc de 3 mm, à peu près exempt de fer; elle est formée de fil de 3 mm à double couverture de coton, disposé sur trois couches ; le diamètre de la carcasse est de 20 cm et le diamètre extérieur de la bobine 22,6 cm ; elle comprend 894 spires.

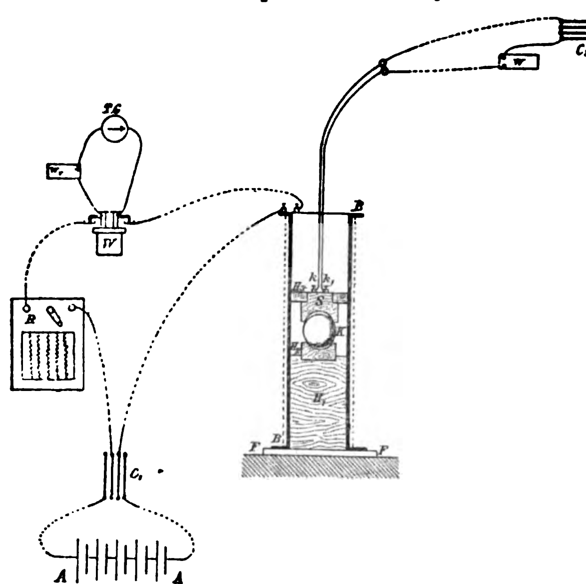


Fig. 1. — Dispositif de O. Grotian pour l'étude de l'aimantation d'une sphère.

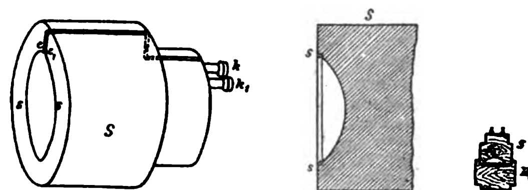


Fig. 2. — Détails du bloc de bois.

Les expériences ont porté sur deux sphères l'une en fer fondu, l'autre en fer corroyé, de même grosseur ; cependant ces deux sphères n'étaient pas comparables, parce que le grain du fer fondu est très régulier, tandis que le fer corroyé renferme une quantité de pores.

Les boucles de fil étaient au nombre de 6 dont le diamètre variait de 2 cm à 9 (en nombres ronds).

Comme la résistance du circuit du galvanomètre doit varier pour que les élongations soient de grandeur convenable, on mesurait la résistance de ce circuit en dehors de celle du rhéostat qui est connue directement.

Dans ce but, on retire le rhéostat du circuit, on enlève la sphère et on renverse le sens du courant dans la bobine, après y avoir mis la plus grande des boucles. De l'élongation observée on peut déduire par le calcul la résistance du circuit, y compris celle de la boucle. D'autre part, on mesure séparément par la méthode de Matthiessen et Hockin la résistance de la plus grande des boucles ; pour les autres, la résistance est calculée d'après leur longueur, en les comparant à la première.

Chacune des mesures est faite pour deux positions différentes de la sphère; dans l'une,

les fibres du fer sont parallèles à l'axe de la bobine ; dans l'autre, elles lui sont perpendiculaires. Chaque fois on fait deux observations, dans les deux positions du commutateur C_2 du galvanomètre, en renversant chaque fois le commutateur C_1. Chaque série de mesures a été répétée pour trois intensités différentes du courant magnétisant, en nombres ronds, 4, 2 et 0,6 ampère, correspondant à des champs voisins de 56, 28 et 7 unités C. G. S. et à des inductions magnétiques voisines de 170, 85 et 23 C. G. S.

Aux erreurs d'expérience près, les résultats confirment la théorie : les lignes d'induction passent de l'air dans une sphère de fer doux placée dans un champ uniforme comme le veut la théorie qui attribue à cette sphère une aimantation uniforme. Le fer fondu et le fer corroyé donnent à peu près les mêmes valeurs d'induction magnétique et d'intensité d'aimantation pour un même champ ; mais on ne peut en conclure que leurs propriétés magnétiques sont identiques. Le rapport entre l'intensité d'aimantation $\mathfrak{J}$ et le champ primitif $\mathcal{H}$ était de 0,2314 pour le fer corroyé et 0,2296 pour le fer fondu. Mais la méthode n'est pas avantageuse pour la détermination de la susceptibilité magnétique, elle est trop peu sensible. M. L.

CORRESPONDANCE

La théorie électrodynamique du monde et les perturbations atmosphériques.

Monsieur le Directeur,

Vous avez eu, à plusieurs reprises, la complaisance de publier mes prévisions des grandes perturbations de notre atmosphère dues à l'action électrodynamique du soleil et à celle des corps cosmiques qui, périodiquement, entrent et sortent de cette atmosphère. Vos lecteurs se rappellent qu'en me basant sur ma théorie électrodynamique, je suis parvenu à prévoir les grands cyclones qui, de temps à autre, ravagent des continents entiers, souvent même plusieurs à la fois. L'action électrodynamique du soleil sur les planètes et les passages des essaims d'étoiles filantes, dont le potentiel électrique est très différent de l'atmosphère terrestre, sont les deux causes qui, en produisant des décharges électriques puissantes dans les hautes couches de l'atmosphère, engendrent les orages cyclonaux, les perturbations magnétiques, les courants terrestres d'intensité extraordinaire et les cyclones à l'intérieur encore fluide du globe ; ces derniers, en venant frapper les parois rugueuses de la croûte terrestre provoquent à leur tour les tremblements de terre, les crevasses de la croûte, et, dans certains cas, amènent la projection, à travers les crevasses formées, de diverses matières, comme eau bouillante, boues, laves et gaz incandescents, et causent ainsi les éruptions volcaniques.

A chaque demi révolution du soleil, deux points de sa surface, centres des perturbations et situés à 7° au nord de l'équateur solaire d'après les observations de M. Janssen, se trouvent successivement en regard de la terre. Ces deux points sont analogues en position aux deux centres de perturbations maxima de l'atmosphère terrestre situés l'un près de l'île de Saint-Thomas (centre des cyclones américains), l'autre dans la mer indochinoise (centre des typhons), tous deux à 18° de longitude nord et présentant une différence de longitude de 150°.

La zone équatoriale de la surface solaire, où se forment principalement les taches énormes dont le mouvement tourbillonnaire est bien visible, est le siège de décharges électriques agissant à travers l'espace céleste et produisant sur la terre et les autres planètes des phénomènes analogues par induction électrique. La périodicité de ces phénomènes est donc liée à la durée d'une demi révolution solaire qui, d'après M. Faye, est de 12,5935 jours terrestres et se trouve contenue 29 fois dans l'année terrestre, 18 dans celle de Vénus et 7 dans celle de Mercure, de sorte que la durée de la révolution sidérale des planètes peut être exprimée par l'équation

$$R = n\frac{T}{2}$$

n étant un nombre entier et T la durée de la rotation du soleil autour de son axe.

Or les grands phénomènes métérologiques montrent également une périodicité d'environ 12,6 jours ; c'est donc la période solaire qui peut servir à la prévision rationnelle du temps. Mais nous observons également des perturbations assez fortes les jours des passages des essaims d'étoiles filantes dans notre atmosphère ; ces passages constituent la seconde cause des orages électriques, magnétiques et des orages à l'intérieur de notre globe, par suite des puissantes décharges électriques qu'ils produisent dans les hautes couches raréfiées de notre atmosphère. Les jours correspondant à ces deux causes périodiques peuvent ou se confondre ou se suivre ; dans le premier cas, la perturbation atmosphérique sera plus intense ; dans le second, elle sera de plus longue durée.

En 1894, j'ai montré (*Comptes rendus*, 6 sept. 1894), que toute décharge électrique produit des mouvements tourbillonnaires dans les couches de matière qu'elle traverse et que ces mouvements sont toujours accompagnés de condensation de matière à l'intérieur du tourbillon ; c'est donc le mouvement tourbillonnaire de nos cyclones qui provoque la condensation de la vapeur d'eau.

La photographie m'a fourni de nouveaux éléments pour la prévision du temps. Les photographies du soleil que j'ai faites tous les jours depuis 1875 indiquent, avant les orages, des phénomènes particuliers d'absorption de la lumière actinique. Tout autour du soleil se produisent des zones circulaires, elliptiques ou même paraboliques, blanches ou grisâtres dans l'intérieur desquelles se distinguent parfois nettement des spires circulaires ou elliptiques. Ces apparences sont évidemment dues à la tranche du cyclone passant entre la surface terrestre et le disque solaire : les rayons actiniques ne peuvent traverser les couches d'air contenant la vapeur d'eau condensée et il en résulte des zones plus ou moins blanches dans la couche sensible de la plaque photographique.

Par la photographie journalière du soleil avec une lentille aplanétique de Steinheil et au moyen des deux séries de jours périodiques, je suis parvenu à une méthode de prévision absolument sûre. C'est ainsi que j'ai pu annoncer au Congrès de Nancy, en 1886, le grand cyclone du 10 août, jour du passage de l'essaim périodique d'étoiles filantes, dites larmes de Saint-Laurent, et plus récemment, au Congrès de Bordeaux de 1895, le cyclone du 10 août de cette même année qui a causé plus de 40 millions de pertes en France, et a ravagé également l'Angleterre, l'Allemagne et le Danemark.

Si nous passons à des faits plus récents, je dirai qu'ayant photographié le soleil jusqu'au jour de mon départ de Prague, le 23 juillet 1896, j'ai constaté sur les photographies des zones blanches depuis le 19, toujours s'agrandissant autour du disque solaire (noir sur l'image négative), et que j'ai pu annoncer que j'arriverai à Paris, le 26 juillet, en pleine perturbation atmosphérique, des essaims périodiques très puissants d'étoiles filantes, appelés Aquarides et facilement observables au Brésil, devant traverser notre atmosphère du 26 au 29. Et, en effet, en m'approchant de Paris où je devais arriver à 6 heures 13 minutes de l'après-midi du 26 juillet, j'ai pu observer dès 4 heures la formation de nuages orageux, noirs, tourbillonnant et émettant vers la terre deux trombes en forme de cônes recourbés et descendant lentement ; vers 5 heures, une pluie torrentielle accompagnée de grêle et soufflée par un vent violent s'abattait sur le train, en même temps qu'une forte odeur d'ozone se répandait dans le compartiment.

Le cyclone du 10 août qui vient de dévaster l'Autriche, la Hongrie, l'Allemagne et une partie de la Suisse et de la France n'a pu être prévu par la photographie, cet élément de prévision me faisant défaut depuis mon départ de Prague. Mais les passages des essains périodiques d'août, commençant le 7 et durant jusqu'au 14, ont produit en France toute une série d'orages ; à Paris la pluie a com-

mencé le 7 à 11 heures du soir, le 8 on subissait un très fort orage suivi des journées orageuses des 9 et 10 août. En Autriche, la voie ferrée qui va de Salzbourg à Innsbruck était ravagée çà et là, sur plusieurs kilomètres par les torrents et les avalanches de pierres et les communications n'ont pu être rétablies qu'après une quinzaine de jours.

Tout récemment enfin, du 25 au 27 août, on a eu à enregistrer en Europe et en Asie aussi bien qu'en Afrique et en Amérique des ouragans, des cyclones, des orages à grêle et quelques tremblements de terre. En France, en Suisse, en Autriche, en Russie, les montagnes sont couvertes de neige à partir d'une faible hauteur et les fleuves sont en crue. Ces perturbations atmosphériques coïncident avec des passages d'étoiles filantes et de bolides du 20 au 25 août, passages suivis de près, le 27, de la 20ᵉ période solaire.

La prochaine période solaire du 9 septembre, précédée et suivie du passage de l'essain périodique des Taurides, du 8 au 10 septembre produira peut être de semblables effets.

Il y a d'ailleurs une autre périodicité d'origine solaire qui dure 10,6 ans et qui, si elle influe sur notre atmosphère, doit avoir pour effet de ramener à des intervalles d'environ 10 ans les grandes perturbations atmosphériques. En 1887 j'ai publié le relevé des grandes perturbations de 1886, année qui, d'après M. Faye, est remarquable par le nombre des cyclones qui s'y sont produit et où l'on a relevé, rien qu'en Amérique, 56 de ces phénomènes. Or il est à remarquer que cette année, en 1896, c'est à dire 10 ans plus tard, la ville de Saint Louis a été à deux reprises ravagée par des cyclones ; que des météores de ce genre se sont produits à Madrid, à Barcelone (deux fois), à Prague, à Paris, et tout récemment en Egypte. Il est également à remarquer que le 26 juillet 1886 un cyclone ravageait Leeds en Angleterre et que du 25 au 27 de cette même année des orages à grêle et à larges ondées étaient signalés des divers points de la France et de l'Europe centrale, c'est à dire précisément aux mêmes jours où, pendant l'année courante, de grandes perturbations atmosphériques avaient lieu.

En terminant je citerai un dernier fait : Au commencement de juillet je reçus une lettre du savant directeur du Lick Observatory m'engageant à aller prendre une photographie de l'éclipse du 9 août ; je pus lui répondre qu'il était inutile d'aller à Vadsoë dans ce but à cause du mauvais temps qu'il y ferait et qu'on verrait peu de chose, même au Japon pas plus qu'on a pu voir l'éclipse de 1887 des observatoires de l'hémisphère septentrionale, l'une s'étant produite, et l'autre devant se produire aux jours de l'année où l'atmosphère est toujours le siège de graves perturbations.

Veuillez agréer, etc.

Paris, le 27 août 1896.

Ch. V. ZENGER

Professeur à l'Ecole Polytechnique de Prague.

CHRONIQUE

DIVERS

L'éclairage électrique des trains. — Nous avons signalé à plusieurs reprises les essais tentés pour l'éclairage électrique des trains et, en particulier, dans notre numéro du 2 mai 1896, t. VII p. 240 nous parlions des essais effectués en Angleterre relativement à cet éclairage.

Voici quelques détails de disposition imaginée par M. A. B. Gill, directeur du service électrique de MM. J. Stone et Co, de Deptford. Dans cette disposition la vitesse de la dynamo est toujours la même, ou approximativement la même, au delà d'un certain minimum déterminé d'après l'importance du trafic et quelle que soit la vitesse du train.

Voici comment ce desideratum est réalisé :

La dynamo est suspendue sous la voiture comme le serait un pendule, et, à l'état de repos, elle est écartée légèrement de la direction de la verticale par l'effet de la courroie dont la longueur a été calculée dans ce but ; la tendance de la dynamo à revenir dans la verticale produit la tension de cette courroie; de plus un contre-poids augmente l'adhérence de celle-ci lors de la mise en marche du véhicule.

Toute augmentation de vitesse du train augmente nécessairement la vitesse de la courroie, mais par suite de la mobilité de la dynamo, celle-ci ne suit pas cette augmentation, elle sort simplement d'avantage de la verticale et la courroie glisse. Quoiqu'il semblerait à première vue que ce glissement doive être intermittent et irrégulier, l'expérience démontre que pour une variation de la vitesse du train, de 20 milles à 60 milles à l'heure, la différence dans le débit est inférieure à un ampère et le voltage reste constant.

Quelle que soit la direction de marche du train, la dynamo tourne toujours dans le même sens, ceci est dû à un arrangement spécial d'un bras de contact travaillant automatiquement sur l'axe de l'armature.

De même le graissage de la dynamo a lieu d'une façon automatique et ne se produit que pendant que le train circule ; un réservoir d'huile de grande capacité est pourvu d'une série de petits tuyaux qui conduisent le lubrifiant à chaque coussinet. Le débit de l'huile est réglé par des valves et l'ouverture de celles-ci est commandée par un levier dont le mouvement se produit magnétiquement.

Quant aux conducteurs des lampes, ils sont renfermés deux à deux dans des câbles sous plomb, et chaque voiture possède deux câbles, de manière que les lampes d'un même véhicule soient montées alternativement sur l'un et l'autre circuit ; une défectuosité survenant à l'un des circuits n'influe pas sur le fonctionnement de l'autre, et ainsi les voitures ne sont jamais plongées dans l'obscurité.

L'allumage et l'extinction des lampes sont réglés par un commutateur, commandé lui-même par une tringle qui traverse la paroi d'about du véhicule.

Pendant l'automne de l'année 1894, le système d'éclairage qui vient d'être décrit dans ses grandes lignes, fut appliqué à une voiture de 1re classe du « London, Tilbury et Southern Railway », et les essais ayant donné toute satisfaction, l'on en pourvut tout un train. Quelques mois plus tard on appareilla encore deux trains ainsi que la voiture « salon royal » de cette compagnie de chemin de fer qui compte appliquer très prochainement ce système à toutes ses voitures.

Des personnes compétentes furent véhiculées le 27 novembre entre Fenchurch streett et Grays, et retour dans un train éclairé par le procédé de M. A.-B. Gill ; toutes furent émerveillées de la beauté et de la fixité de la lumière.

En Angleterre les administrations de chemins de fer s'intéressent à ce nouveau mode d'éclairage et, dès à présent, seize différentes compagnies, dont notamment les L. et N. W., G. N., North British, Great Northern of Scotland C°, ont décidé d'en faire l'essai.

L'énergie électrique et les moulins à vent. — On a souvent parlé de l'utilisation de la puissance du vent à la production de l'énergie électrique. En Amérique, on compte déjà un grand nombre de moulins à vents producteurs d'électricité. Une note à ce sujet vient d'être publiée dans le *Canadian Electrician* par M. E. O. Baldwin qui, dans ses recherches pour obtenir une régulation en accord avec les exigences du courant, a combiné et expérimenté un appareil de réglage très simple. Celui-ci consiste en un enroulement additionnel dont les électros de la dynamo sont pourvus et dont l'effet est de diminuer le champ. Cet enroulement est mis automatiquement dans le circuit d'excitation par l'intermédiaire d'un solénoïde dont l'enroulement est calculé pour la tension qui ne doit pas être dépassée.

Si la tension s'élève trop, le solénoïde devient actif et attire par son noyau une armature munie d'une tige à ressort qui met l'enroulement démagnétisant dans le circuit ; l'affaiblissement immédiat du champ provoque l'abaissement de tension qui ramène le régulateur à sa position première et ainsi de suite, de sorte que le ressort commutateur est en vibration continuelle. M. Baldwin ajoute que le courant produit par une dynamo actionnée par un moulin à vent peut, à l'aide de ce dispositif, être directement employée à l'alimentation des lampes sans aucune fluctuation perceptible, et à la charge d'une batterie d'accumulateurs dans des conditions avantageuses.

La téléphonie et la propriété du sol. — La question de propriété en matière d'installations téléphoniques est depuis quelques années, l'objet de controverses légales assez bizarres. Le Code Napoléon règlant les différents entre industriels de 1808 et électriciens de 1900 peut sembler sujet à retouches. La Russie par la voix de son Sénat jouant en la circonstance le rôle de notre Conseil d'Etat, vient d'admettre en principe l'extension absolue des droits d'un propriétaire sur le fond et le tréfond

des propriétés et sa décision aussi fâcheuse que surprenante est que chaque propriétaire *pourra* s'opposer au passage d'un réseau téléphonique au dessus de la surface qu'il possède. Tout cerf-volant tout aérostat, sujet à contravention, cela peut sembler excessif. En droit *russe* ceci sera exact avant peu. Où passeront les fils : en terre, dit on. Mais le public trouve déjà le prix des abonnements trop élevé avec des lignes aériennes. Que dira-t-il si le prix plus élevé encore que comportent nécessairement les lignes souterraines plus coûteuses, lui est réclamé? La téléphonie lui paraîtra marcher à reculons.

D'autre part, où se réfugiera la ligne téléphonique si le tramway électrique à caniveau s'étend et se généralise. La réunion des jurisconsultes et de techniciens, animés du désir de solutionner et non d'enterrer l'affaire s'impose. La décision du Sénat du pays *d'où nous vient la lumière* est de nature à faire craindre des ennuis pour les électriciens d'un pays où Panurge a laissé beaucoup de moutons trop portés à subir l'influence d'autrui.

La photographie des intestins par les rayons X. — Nous lisons dans le *Medicinische Woehenschrift* une note de M. Wolf Becher, de Berlin, sur un nouveau procédé pour la photographie des intestins par les rayons X. Déjà au mois d'avril dernier, l'auteur avait montré que l'estomac d'un cobaye pouvait être photographié par la méthode de Roentgen, si, au préalable, on injectait dans les intestins une solution d'un sel de plomb.

Plus tard, ayant remarqué que de toutes les substances organiques, les os sont presque les moins opaques, il fut conduit à comparer la transparence aux rayons X du phosphate de chaux et d'un autre composé de la chaux, et l'expérience montra que l'eau de chaux possède un grand pouvoir absorbant et peut remplacer les sels de plomb.

Mais le nouveau procédé que préconise l'auteur pour rendre visibles les parties intestinales est beaucoup plus commode; il consiste simplement à insuffler de l'air dans l'estomac du sujet. L'auteur en a fait l'expérience sur un cobaye auquel il avait insufflé de l'air dans l'estomac quelque temps avant de le soumettre à l'action des rayons. La radiographie qu'il en obtînt était des plus intéressantes. La plus grande partie de l'estomac était visible. On remarquait d'abord le squelette entier, puis dans le thorax on pouvait distinguer non seulement les os, mais les parties cartilagineuses. Les muscles et les os se différenciaient un peu. On pouvait, en outre remarquer une foule d'autres détails, tels que le cœur, les poumons, le diaphragme, une partie du foie, etc. L'auteur croit, d'après le succès des expériences pratiquées sur des animaux, que les rayons Roentgen seront inévitablement appelés à rendre de grands services à l'étude technique des détails des parties internes du corps humain.

Nouveau procédé de préparation du tungstate de calcium pour la fabrication des écrans fluorescents. — Nous lisons dans l'*Electrical Engineer* de New-York, qu'un procédé relativement simple et peu coûteux vient d'être imaginé et décrit par M. E. Tennant. L'auteur prend deux parties de tungstate de sodium et une partie de chlorure de calcium qu'il fait fondre ensemble au rouge. Il en résulte la formation d'un mélange de tungstate de calcium et de chlorure de sodium. Le dernier de ces sels est, comme on le sait, très hygrométrique et rend le tungstate de calcium entièrement négatif aux rayons X. Mais en immergeant la masse fondue dans l'eau pendant 48 heures, le chlorure de sodium se dissout et le tungstate, qui est insoluble, reste à l'état de précipité cristallisé. On le recueille par filtration, et on le fait sécher ; il est alors très sensible aux rayons X.

On peut aussi obtenir du tungstate de calcium amorphe en mélangeant une solution saturée de tungstate de sodium avec une solution de chlorure de calcium ; il se forme aussi un précipité de tungstate de calcium, mais il est amorphe et inutilisable pour la fabrication des écrans.

M. Tennant prétend que, préparé par son procédé, un écran fluorescent pour les rayons de Roentgen, assez grand pour permettre d'observer un squelette entier d'être humain, ne revient pas à plus de 1,25 fr.

La fabrication du corindon en Amérique. — Cette fabrication prend chaque jour de nouveaux développements. La Carborundum Company, dont les ateliers de fabrication du corindon sont proches de la fameuse station du Niagara à qui elle prend l'énergie électrique, peut fournir actuellement 1920 kilogrammes de cette substance par 24 heures; elle est capable d'alimenter, à elle seule, presque tout le marché américain.

Les avertisseurs électriques d'incendie à Chicago. — Notre correspondant de Chicago nous adresse le rapport du colonel des Sapeurs-Pompiers de

cette ville, M. D. J. Swenie, pour l'année finissant le 31 décembre 1895. Il nous servira à compléter les renseignements que nous avons publiés à ce sujet il y a deux ans (*L'Éclairage Électrique*, tome I, p. 47, 15 septembre 1894).

Il n'y a pas moins de 2594 km de canalisations d'eau de différents diamètres, comprenant 16466 prises d'eau spécialement affectées au service des incendies à Chicago. Le nombre des avertisseurs publics spéciaux à ce service a été porté à 1115 (1003 en 1893); les avertisseurs publics de police avec téléphone servant aussi à prévenir les pompiers des sinistres sont au nombre de 894 et il y a 387 avertisseurs privés, soit un total de 2396 postes d'alarme, dont le réseau ne comprend pas moins de 4971 km de conducteur (3777 km aériens et 1194 souterrains), contre 4242 km en 1893.

Malgré ce développement considérable, en raison de différentes économies réalisées, la valeur totale des bâtiments, appareils, pompes ne s'élève qu'à 12 500 000 fr, contre 12 000 000 en 1893; la valeur du réseau télégraphique et des appareils est de 3 071 000 fr.

Le personnel ne comprend au total que 1 116 hommes.

L'ensemble des dépenses s'est élevé à 7 712 983 fr, soit, pour une population de 1 700 000 âmes, à 4,50 fr par habitant environ, ce qui est un chiffre assez bas, surtout si l'on considère les services rendus par cette organisation. Les pompiers, en effet, ont dû répondre à 6817 alarmes et combattre 5316 incendies. Grâce à la promptitude des secours, les pertes totales ne se sont élevées qu'à 14 873 800 fr, — 8,75 fr par habitant, — valeur très minime, surtout si l'on considère qu'une grande partie des constructions de la métropole de l'Ouest sont de simples maisons en bois.

La partie du rapport relative aux causes d'incendies est très favorable aux installations électriques ainsi que le prouvent les chiffres du tableau suivant :

CAUSES D'INCENDIES	Nombre de sinistres en 1893	en 1895
Electricité	132	106
Huiles imflammables, alcool, etc	777	806
Enfants jouant avec des allumettes	169	224
Etincelles des locomotives	216	153
Gaz	155	186

Ainsi, le nombre d'incendies attribués à l'électricité a beaucoup diminué; il est d'ailleurs notablement inférieur à celui des autres causes principales que nous avons citées.

Après examen, 95 incendies seulement sur 106 ont été reconnues comme réellement dus à l'électricité; leurs causes sont les suivantes :

Plombs fusibles	1
Suspensions (haute tension)	2
Courts-circuits dans des douilles de lampes à incandescence	2
Arcs extérieurs, mise à la terre de distribution en série	18
Etincelles provenant d'arcs électriques	2
Transformateurs	2
Foudre	3
Contact des fils à trôlet avec des fils téléphoniques	3
Conducteurs à basse tension (défaut d'isolement	2
Conducteurs à basse tension sous les trottoirs	1
Conducteurs à haute tension sous les trottoirs	19
Conducteur extérieur à haute tension percé par des clous	2
Conducteur extérieur à haute tension percé par des vis	1
Boîte de jonction intérieure (basse tension)	1
Coupe circuit non fini, basse tension	2
Rhéostat de moteur	2
Lampe à arc, haute tension	1
Service sous les trottoirs, haute tension	1
Service sous les trottoirs, basse tension	1
Contact entre conducteurs à haute et à basse tension	1
Contact entre conducteurs et fils télégraphiques	1
Fils volants	1
Défaut d'isolement des câbles extérieurs à haute tension	24
Décoration de vitrines enflammée par la chaleur de lampes à incandescence	2
Isolant mangé par des rats (basse tension)	1
Total	95

Tous ces incendies ont été peu importants; la totalité des dégâts, pour les 95, ne s'est élevée qu'à 6 721 fr. Ce sont des résultats très satisfaisants.

Ajoutons que la foudre a causé, en 1895, 25 incendies à Chigago. C'est un chiffre très élevé.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imprimerie EM. MAUCHAUSSAT, 32, Boul. Vaugirard

Tome VIII | Samedi 19 Septembre 1896 | 3e Année. — N° 38

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LES UNITÉS MAGNÉTIQUES

DANS LE SYSTÈME PRATIQUE DE L'OHM ET DE L'AMPÈRE

L'intéressant rapport de M. Hospitalier sur les unités magnétiques publié récemment dans ce journal (1) contient relativement à des propositions que j'avais faites ici même (2) une allusion dont je ne pourrais lui être que reconnaissant, si elle n'était de nature à donner une idée inexacte de ces propositions. Celles-ci constituant le seul point sur lequel nous ne soyons pas d'accord, car je partage les idées de M. Hospitalier sur l'opportunité d'un changement, il voudra bien me permettre d'en faire l'exposé à mon point de vue.

L'auteur reproche aux unités que j'ai proposées d'être trop compliquées et trop petites. En réalité la complication n'est qu'apparente, parce que j'ai laissé le choix entre deux séries de noms, par déférence pour nos prédécesseurs; mais, si on accepte la première, le système se réduit simplement au suivant (tableau I) :

Cela fait trois noms nouveaux au lieu de quatre que préconise M. Hospitalier, et j'évite la confusion entre $\mathcal{H}$ et $\mathcal{B}$, qu'on ne fait plus du reste en Amérique depuis un an.

En ce qui concerne la grandeur de ces unités, M. Hospitalier s'est chargé lui-même de détruire son objection en reproduisant un rapport (1) où l'on déclare beaucoup trop grandes les unités qu'il trouve beaucoup trop petites sous des noms différents. J'en conclus qu'aucune de ces deux critiques contradictoires ne repose sur une étude approfondie de la question, et, contrairement à mes devanciers, je *vais le prouver* en mettant sous les yeux des lecteurs comparativement deux séries de calculs effectuées dans les deux systèmes.

TABLEAU I

Quantité	Symbole	Nom	Valeur
Force magnétomotrice............	$\mathcal{F}$	Hertz	10^{-1} C.G.S.
Intensité de champ	$\mathcal{H}$	Hertz par cm	10^{-1}
Flux............	Φ	Maxwell ou max	10^{8}
Induction........	$\mathcal{B}$	Maxwell par cm²	10^{8}
Réluctance.......	$\mathcal{R}$	Arago	10^{-9}

Je ferai remarquer d'abord qu'en pratique l'unité d'induction sera, soit le millimaxwell par cm², soit, mieux encore dans les ateliers le *maxwell par m²*. On a par exemple :

$$1\,500 \text{ C.G.S.} = 0{,}15 \text{ millimaxwell par cm}^2$$
$$= 1{,}5 \text{ max par m}^2.$$

Voici comment se présente dans ces condi-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 337, 22 août 1896.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 528; 20 juin 1896.

(1) J'ajouterai que dans mes propositions tous les autres points critiqués avec raison dans ce rapport ont disparu et qu'on aurait tort par conséquent de me l'opposer aujourd'hui.

tions pour un constructeur de machines une table d'induction rapportée soit aux ampères-tours soit aux intensités de champ.

Amp.tours par cm $\frac{NI}{l}$	Hertz par cm $\frac{4 \pi NI}{l}$	Maxwell par m²
1,6	20	0,5
3.2	4	0,9
4,0	50	1
5,2	65	11
6,8	80	12
9,6	120	13
13,6	170	14
22,8	285	15
etc ..	etc...	etc...

Supposons que l'on ait à calculer la f. é. m. d'un induit de dynamo en tambour ayant une section de 0,50 m sur 0,80 soumise à une induction moyenne de 5 000 unités c. g. s. et portant 250 fils périphériques, animés d'une vitesse de 8 tours par seconde. Le calcul donnera les chiffres suivants dans les deux systèmes.

Système actuel ou américain	Système pratique cohérent
Induction $\mathfrak{B} = 5000$ gauss Flux total $\Phi = 50 \times 80 \times 5\,000 = 20\,000\,000$ weber. F e m induite. $E = \frac{N n \Phi}{10^8} = 120 \times 8 \times 20\,000\,000 \times 10^{-8} = 192$ volts	$\mathfrak{B} = 0,5$ max : m². $\Phi = 0,5 \times 0,8 \times 0,5 = 0,2$ max. $E = N n \Phi = 120 \times 8 \times 0,2 = 192$ volts.

Où est le préfixe *méga* qu'on prétend nécessaire et même insuffisant ? Je le demande à tout esprit impartial, le second système n'est-il pas de beaucoup le plus simple ? et la dimension des unités n'est-elle pas infiniment plus pratique pour un constructeur qu'elle dispense de compter 8 ou 10 zéros qui ne servent à rien. Il serait donc temps de laisser de côté la légende de la prétendue incommodité des unités pratiques, alors qu'elles sont plus commodes au contraire que les autres.

Je n'insisterai pas davantage sur cette solution, renvoyant pour les détails à mon mémoire (¹). Mais il m'a semblé utile de rappeler l'attention sur cette question des unités magnétiques que certains semblent trop désireux d'enterrer sans examen.

Des électriciens éminents croient avoir répondu en disant qu'ils ne sentent pas le besoin d'unités magnétiques nouvelles, sans remarquer que c'est le même raisonnement que font les Anglais depuis un siècle pour écarter le système métrique ; je ne vois pas qu'il prouve rien, si ce n'est une tendance regrettable à ne considérer qu'un côté des choses et à refuser de les examiner à un point de vue différent de celui auquel on est accoutumé, de peur d'avoir à changer ses habitudes.

Il est bien entendu que tous les électriciens qui ont suivi un bon cours d'électricité savent manier le système c. g. s. A ce compte nous pourrions nous passer aussi des unités pratiques le coulomb, le joule et même de l'ohm, du volt, de l'ampère pour tout mesurer en c. g. s. ; je n'y ferais aucune objection pour mon usage personnel.

Mais ce qu'il faudrait dire et ce que personne n'a justifié jusqu'ici c'est pourquoi on croit nécessaire d'imposer, faute d'une ou deux unités magnétiques cohérentes avec le système pratique, à tous les praticiens des bureaux de dessins et des ateliers de construction, l'étude stérile pour eux de *deux systèmes d'unités*, le système c. g. s. et le système pratique, et des rapports compliqués qui les unissent, alors que le dernier leur suffirait parfaitement et ferait disparaître des formules le 10^8 et la virgule de $0,4 \pi$ pour le bien de la logique.

Je ne comprends pas d'ailleurs en quoi une unité pratique de self-induction présente un

(¹) La question des Unités magnétiques. *Éclairage Électrique* du 20 juin 1896.

caractère de nécessité plus grand que des unités magnétiques. Il me semble au contraire qu'à défaut d'unité de force magnétomotrice (suffisamment représentée par les ampères-tours pour les praticiens) et de l'unité de réluctance qui a peu d'emplois actuellement, une unité de flux dans le système pratique cohérent rendrait aujourd'hui les plus grands services.

L'enquête faite en Angleterre, par " The Electrican " l'a suffisamment démontré. L'unité de flux que je propose diffère de celle proposée par M. Lodge seulement par le nom. " Weber " étant déjà employé par les ingénieurs américains pour l'unité C. G. S., j'ai proposé " Maxwell " et je ne pense pas que les électriciens anglais puissent faire d'objection à ce changement qui consacrerait le nom de leur glorieux compatriote. Voilà une base facile pour une entente internationale.

Alors pourquoi persister à maintenir le système pratique dans son état incomplet? L'expérience des répugnances qu'on a opposées d'abord à l'adoption du watt, du joule et du henry montre qu'il faut toujours céder finalement aux exigences de la logique. Pourquoi vouloir lutter contre elle encore cette fois, au lieu de reconnaître ses droits de bonne grâce, quand il est évident à l'avance qu'on sera toujours obligé de le faire un jour?

A. BLONDEL.

LA STATION CENTRALE ÉLECTRIQUE DE ZURICH (1)

L'installation électrique de Zurich a reçu une extension importante au milieu de l'année 1895, lorsqu'on a installé la lumière électrique dans le nouveau bâtiment de la «Tonhalle», destiné à remplacer un bâtiment de construction plus modeste existant depuis longtemps sur la rive gauche de la Limmat. Dans cette nouvelle salle de concerts et spectacles, édifiée avec beaucoup de luxe, sur la rive gauche de la Limmat, dans le quartier neuf de la ville, tout prés du lac de Zurich, la société de la Tonhalle fit exécuter une superbe installation d'éclairage, composée en majeure partie de lampes à incandescence et équivalant à une puissance totale de 2 500 lampes de 16 bougies. Il était impossible d'assurer directement par un poste de transformateurs ordinaire un éclairage aussi important, sans poser un câble spécial ou feeder partant de l'usine, car les deux feeders alimentant les sous-sections de Rüden et de Kreuzplatz étaient déjà chargées presque au maximum par le réseau ordinaire pendant les heures de la soirée et se trouvaient incapables de supporter un excès de courant aussi fort. Mais d'un autre côté, c'était une dépense bien onéreuse que d'installer un feeder de plus de 3 km de long, dont l'utilisation eût été bien mauvaise, car la Tonhalle n'est pas ouverte tous les soirs et ne donne quelquefois qu'un seul jour de spectacle par semaine. On a tourné la difficulté en montant dans la Tonhalle une batterie d'accumulateurs fournissant le courant dans la soirée toutes les fois que cela est nécessaire, et pouvant être chargée facilement par un simple branchement dérivé de la sous-station de Rüden, pendant les heures de jour où les feeders travaillent presque à vide.

Cette combinaison aurait été des plus simples si la station génératrice avait marché avec du courant continu ; mais avec des courants alternatifs la question était un peu plus complexe. La ville de Zurich a trouvé, par l'emploi des redresseurs Pollak, une solution élégante du problème.

Nous avons donné dès leur création (1), c'est à dire en 1893, la description de l'appareil Pollak, qui consiste en principe en un commutateur redressant le courant alternatif et recueillant la portion de ce courant qui peut être utilisée pour la charge d'une batterie d'accumulateurs. M. Pollak a fait une première application importante de ses redres-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 12 Septembre, p. 480.

(1) Voy. *La Lumière Électrique*, 14 octobre 1893, page 54.

seurs de courant dans la nouvelle fabrique d'accumulateurs qu'il a installée à Francfort-sur-Mein à la fin de l'année 1894. Toute la force motrice de cette usine, qui absorbe environ 70 chevaux, est fournie par des moteurs électriques à courant continu alimentés par une grande batterie d'accumulateurs. Ces accumulateurs sont eux-mêmes chargés avec le courant alternatif, pris sur le réseau municipal, à l'aide de 4 redresseurs Pollak.

Mais, en réalité, cette installation n'avait été exécutée par l'inventeur que dans le but de faire en grand une démonstration pratique de ses appareils. En effet, il est évident qu'en dehors de cette considération, il eût été beaucoup plus simple d'actionner la transmission mécanique de l'usine par des moteurs à courants alternatifs branchés directement sur le réseau de distribution de la station centrale. A Zurich, au contraire, les redresseurs Pollak n'ont été adoptés que parce qu'ils ont été trouvés commodes et avantageux pour le cas particulier de l'éclairage de la « Tonhalle ». L'installation de la nouvelle « Tonhalle » présente donc un grand intérêt, puisque c'est la première application industrielle d'un appareil tout nouveau : le redresseur Pollak.

Nous ne referons pas la théorie de l'appareil Pollak exposée naguère en détail (¹) qui nous entraînerait un peu loin.

Nous rappellerons seulement que le redresseur Pollak consiste en un tambour ou commutateur mis en mouvement par un moteur alternatif tournant synchroniquement avec le courant qu'il s'agit de redresser. Le tambour est formé de 2 séries alternées de segments ou touches reliées à chacun des pôles du courant à redresser et séparées par des intervalles égaux. Les balais qui appuient sur ces touches forment 2 séries de frotteurs constituant les deux pôles du courant redressé relié à la batterie à charger. Grâce à 2 systèmes de réglage distincts, les balais peuvent être amenés dans une position telle que l'admission et la rupture du courant se produisent exactement aux points de la courbe du courant alternatif où la force électromotrice instantanée est égale à la force contre-électromotrice constante de la batterie. Les balais recueillent ainsi le courant redressé pendant tout le temps où la force électro-instantanée est supérieure à la force contre-électromotrice de la batterie, c'est à dire pendant la période où il est capable de charger les accumulateurs. Pendant la période complémentaire où la force électromotrice instantanée est inférieure à la force contre-électromotrice des accumulateurs, le courant alternatif est simplement *inutilisé*, mais non pas perdu ou dissipé, car pendant tout ce temps le circuit du courant redressé reste ouvert. Le commutateur, par son principe même, ne comporte théoriquement aucune cause de perte : son rendement doit donc être très élevé. En pratique, il atteint, paraît-il, 99 pour 100 et c'est là un des grands avantages de l'appareil.

La grande difficulté dans un commutateur chargé de redresser des courants changeant de sens 6 000 fois par minute, est de rendre aussi faibles que possible les étincelles aux balais sans songer à les faire disparaître complètement, ce qui est impossible. M. Pollak parvient à les réduire au minimum par son double réglage des balais. En effet, la fermeture et la rupture du circuit redressé se faisant exactement au moment où la force électromotrice instantanée alternative est égale à la force contre-électromotrice de la batterie, la différence de potentiel est nulle, à condition toutefois que la rotation du tambour soit parfaitement synchrone avec les périodes du courant alternatif et que les parties positives et négatives de la courbe du courant soient symétriques.

La sous-station de la nouvelle « Tonhalle » est desservie par un poste comprenant 2 transformateurs de 30 kilowatts chacun, logés comme d'ordinaire dans un kiosque situé dans la rue, à environ 100 mètres de distance du bâtiment. Ce poste est alimenté par un câble de branchement primaire à 2 conducteurs concentriques de 70 mm² de section,

(¹) Voy. *La Lum. Élect.*, p. 56, 14 octobre 1893.

partant du centre de distribution de Rüden et mesurant 900 mètres de longueur. Une partie du courant est également fournie à la Tonhalle par 2 transformateurs auxiliaires de 15 kilowatts chacun disposés dans le sous-sol du bâtiment. Ces transformateurs auxiliaires sont des survolteurs, c'est à dire qu'ils servent à augmenter la tension secondaire de 105 volts des transformateurs principaux, qui serait insuffisante pour la charge de la batterie d'accumulateurs.

La figure 5 représente le schéma des connexions électriques de la sous-station, qui comprennent deux moitiés exactement semblables parce qu'elles alimentent les 2 ponts d'un réseau à 3 fils. Les survolteurs Z T ont

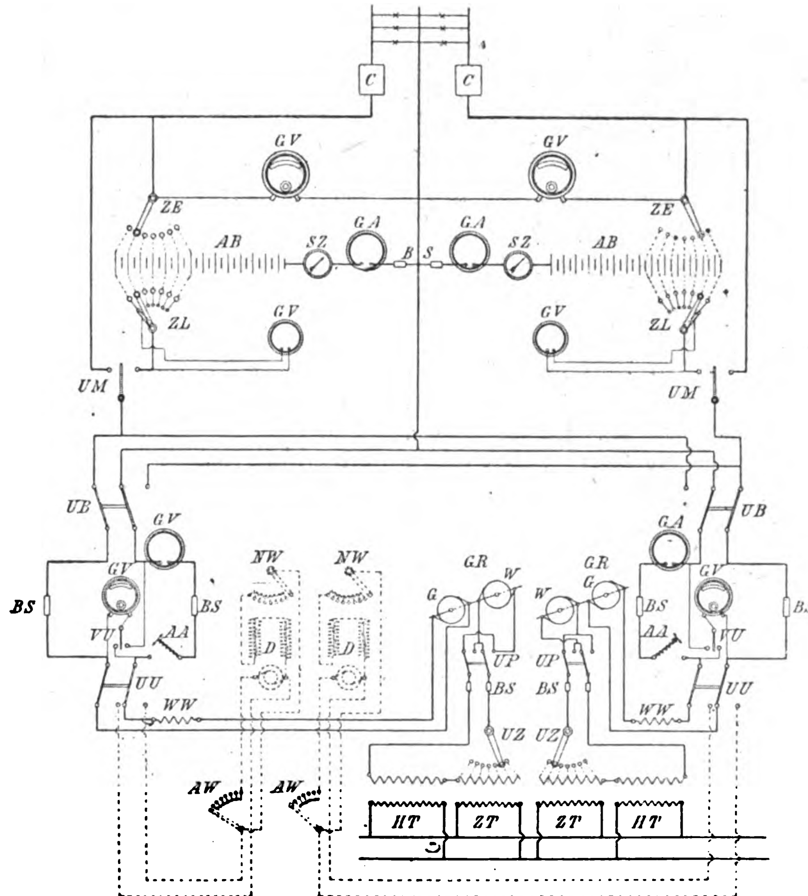


Fig. 5. — Schéma des connexions électriques à la sous station de la « nouvelle Tonhalle ».

leurs primaires montés en dérivation, comme les transformateurs principaux H T, sur le branchement du réseau primaire à haute tension. Le circuit secondaire des transformateurs principaux H T est monté en série avec le circuit secondaire des transformateurs survolteurs Z T. Ce dernier circuit est divisé en plusieurs bobines aboutissant à un commutateur U Z qui permet de faire varier de 0 à 55 volts par fractions de 5 volts la tension secondaire complémentaire des survolteurs, nous verrons pourquoi tout à l'heure. Le courant alternatif secondaire de basse tension est envoyé au tambour W des 2 redresseurs GR après avoir traversé un coupe-circuit B S et un commutateur inverseur U P.

Le courant redressé sortant du redresseur par les balais de la couronne G traverse un rhéostat à eau W W, puis un commutateur à 2 directions U U, un disjoncteur magnétique

ou interrupteur automatique A A et deux coupe-circuits fusibles B S, un ampèremètre G A, et enfin se rend à l'une ou l'autre des demi-batteries A B en passant par le commutateur à 2 directions U B et l'interrupteur U M. On peut mesurer avec un voltmètre G V la tension séparément, soit aux bornes de la demi-batterie, soit aux bornes du redresseur, en plaçant le petit inverseur VU dans l'une ou l'autre de ses 2 positions. Les éléments extrêmes de la demi-batterie A B servent d'éléments de réglage et sont introduits en nombre variable dans le circuit de charge par le régulateur automatique Z L réglé par un voltmètre G V. Ils sont introduits aussi en nombre variable dans le circuit de distribution par un second régulateur automatique Z E réglé par un second voltmètre G V. Dans le circuit des accumulateurs sont placés une boussole indiquant le sens du courant et un ampèremètre indiquant l'intensité du courant de charge ou de décharge. Un compteur C intercalé dans le circuit de distribution donne la quantité d'ampères-heure consommés pendant la décharge. Enfin un commutateur U M permet de relier la batterie, soit avec le circuit de charge du redresseur seul, soit en parallèle avec le redresseur et avec le circuit de distribution.

Les redresseurs Pollak étant des appareils d'un système nouveau, on leur a adjoint, par mesure de prudence, un dynamoteur pouvant en cas de besoin charger seul les accumulateurs sans avoir recours aux redresseurs Pollak. Ce dynamoteur se compose d'une réceptrice à courant alternatif et d'une génératrice à courant continu accouplées sur le même arbre. Le moteur alternatif n'est pas indiqué sur la figure 5 qui représente schématiquement deux dynamos à courant continu D desservant les 2 ponts du circuit de distribution à 3 fils. En réalité, les deux ponts sont alimentés par une seule dynamo dont l'induit est divisé en 2 moitiés. Le courant continu provenant du dynamoteur se rend au bipolaire à deux secteurs commutateurs UU au moyen duquel on peut relier les deux demi-batteries à volonté, comme on le voit sur la partie droite de la figure, soit avec les deux redresseurs Pollak, soit avec les deux demi-circuits D du dynamoteur, comme il est indiqué sur la partie gauche de la figure.

La batterie, fournie par la Société Suisse de Marly, se compose de 118 accumulateurs Pollak fabriqués à Francfort-sur-Mein, ayant une capacité de 1 530 ampères-heures et pouvant supporter un courant de charge de 336 ampères et un courant de décharge de 380 ampères. Les plaques du système Pollak sont constituées, on le sait, par des lames de plomb hérissées d'un grand nombre de pointes entre lesquelles les oxydes sont introduits partie par voie électrolytique et partie par étendage, puis emprisonnées par un laminage des plaques qui rabat les pointes. Les plaques sont placées dans des bacs en bois doublés de plomb, posés sur des poutres en bois par l'intermédiaire d'isolateurs à double cloche remplis d'huile. Les plaques sont séparées entre elles par des tubes de verre et réunies à la partie supérieure par une lame plomb horizontale, soudée au plomb pur, qui sert en même temps à relier les éléments voisins entre eux, comme le montre la figure 6, qui donne une vue de la batterie de la « Tonhalle ».

La sous-station de la « Tonhalle » est disposée dans le sous-sol du bâtiment. Les accumulateurs occupent une salle spéciale assez vaste à côté de la salle des machines proprement dite qui, elle, est très exigüe.

Sur un des côtés de la salle se trouve le dynamoteur, placé en face du tableau de distribution ; les redresseurs sont placés entre les deux, mais dans l'autre sens, ainsi qu'on le voit sur la figure 7, qui représente le dynamoteur et l'un des redresseurs.

La figure 8 donne la vue du tableau de distribution ; à gauche sont les appareils commandant les circuits de haute et de basse tension des transformateurs ; au milieu se trouvent les appareils pour la charge et la décharge des accumulateurs et à droite les appareils servant au dynamoteur.

Les redresseurs sont placés sur des plate-

formes en bois. A côté du redresseur proprement dit, est fixé sur le même support un petit moteur à courant alternatif synchrone, monté sur l'axe du redresseur. Ce petit moteur, qui a une puissance de 1 cheval, reçoit le courant à 65 volts du circuit secondaire d'un petit transformateur spécial de 1 kilowatt alimenté par le réseau primaire de la station à 2 000 volts. On emploie un petit transformateur spécial afin d'obtenir dans le moteur synchrone une régularité parfaite de la tension et surtout de la phase.

Comme le moteur synchrone, ne pourrait démarrer seul, on le met en marche au moyen d'un petit moteur à courant continu placé sous le support et actionnant le moteur alternatif par une corde disposée verticalement.

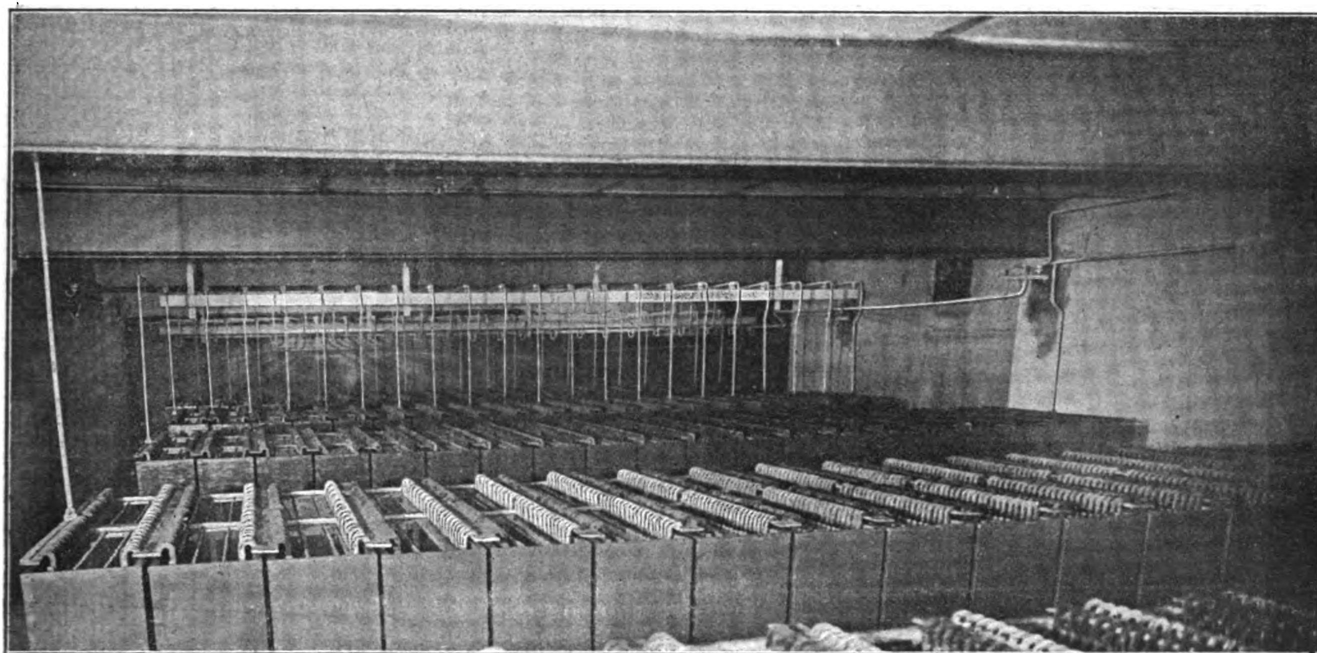


Fig. 6 — Batterie d accumulateurs Pollak à la sous-station de la « Tonhalle ».

Ce petit moteur à courant continu, qui a une puissance de 1 kilowatt, reçoit le courant à 105 volts provenant de la batterie d'accumulateurs. Sur la même plateforme que le redresseur se trouve le commutateur inverseur du courant alternatif. La surface occupée par la plateforme entière n'est que de 1 m × 0,60 m. La photographie de la figure 7 montre bien le contraste frappant qui existe entre les deux redresseurs et le dynamoteur. Quand on pénètre dans la station on est saisi tout de suite en voyant que deux appareils de si petites dimensions peuvent produire le même effet que les deux grosses machines qui constituent le dynamoteur. C'est là, en effet, le grand avantage du redresseur Pollak : il est beaucoup plus réduit et coûte moins cher que le dynamoteur dont il remplit l'office.

On s'est servi comme moteur synchrone à courants alternatifs conduisant le dynamoteur, du petit alternateur de jour, de 75 kilowatts, qui se trouvait primitivement dans la station primaire de Letten et qui en a été retiré au moment de l'installation de la Tonhalle, ainsi que nous l'avons expliqué au début. Sur l'arbre de cet alternateur, qui tourne à la vitesse angulaire de 330 tours par minute est montée une dynamo shunt à courant continu, construite comme l'alternateur par les ateliers d'Oerlikon et pouvant don-

ner 360 ampères à la tension de 210 volts.

Le système inducteur de la réceptrice synchrone est excité par un courant continu provenant de la batterie d'accumulateurs. Pour mettre le dynamoteur en marche, on renverse les rôles : on laisse ouvert le circuit induit de l'alternateur desservi par du courant alternatif et l'on envoie le courant des accumulateurs dans la dynamo à courant continu qui fonctionne alors comme réceptrice et entraîne avec elle l'alternateur. Lorsque la vitesse a atteint une valeur voisine du synchronisme on coupe la communication de la dynamo à courant continu avec les accumulateurs et l'on envoie le courant alternatif dans l'induit de l'alternateur. Le dynamoteur continue à tourner, mais l'alternateur fonctionne à ce moment comme réceptrice et la dynamo fournit alors du courant continu. On est obligé de faire cette opération très rapidement parce qu'il se produit de fortes étincelles au collecteur de la dynamo à courant continu lorsqu'on la relie à la batterie.

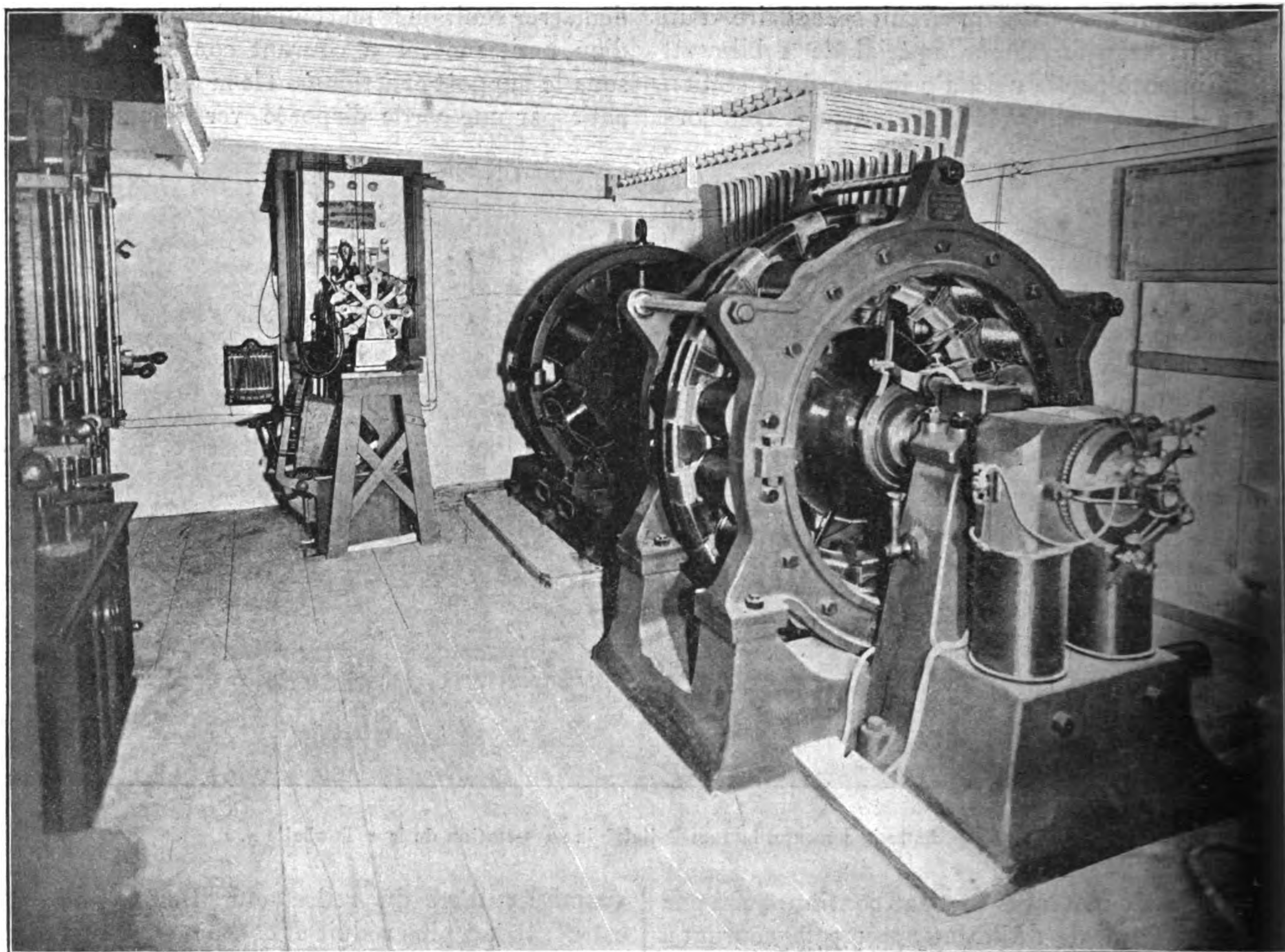


Fig. 7. — Vue du dynamoteur et du redresseur de courant alternatif à la sous-station de la « Tonhalle. »

On peut à volonté charger la batterie entière avec les deux ou avec un seul des redresseurs Pollak. Pour mettre en marche le redresseur, on commence par faire tourner l'appareil au moyen du petit moteur à cou-

rant continu dont le circuit est fermé sur la batterie d'accumulateurs. Lorsque la vitesse de synchronisme du petit moteur à courant alternatif est atteinte, on coupe le circuit du moteur à courant continu, on fait tomber sa cordelette et l'on ferme le circuit du moteur à courant alternatif synchrone sur le circuit secondaire de son petit transformateur. Le

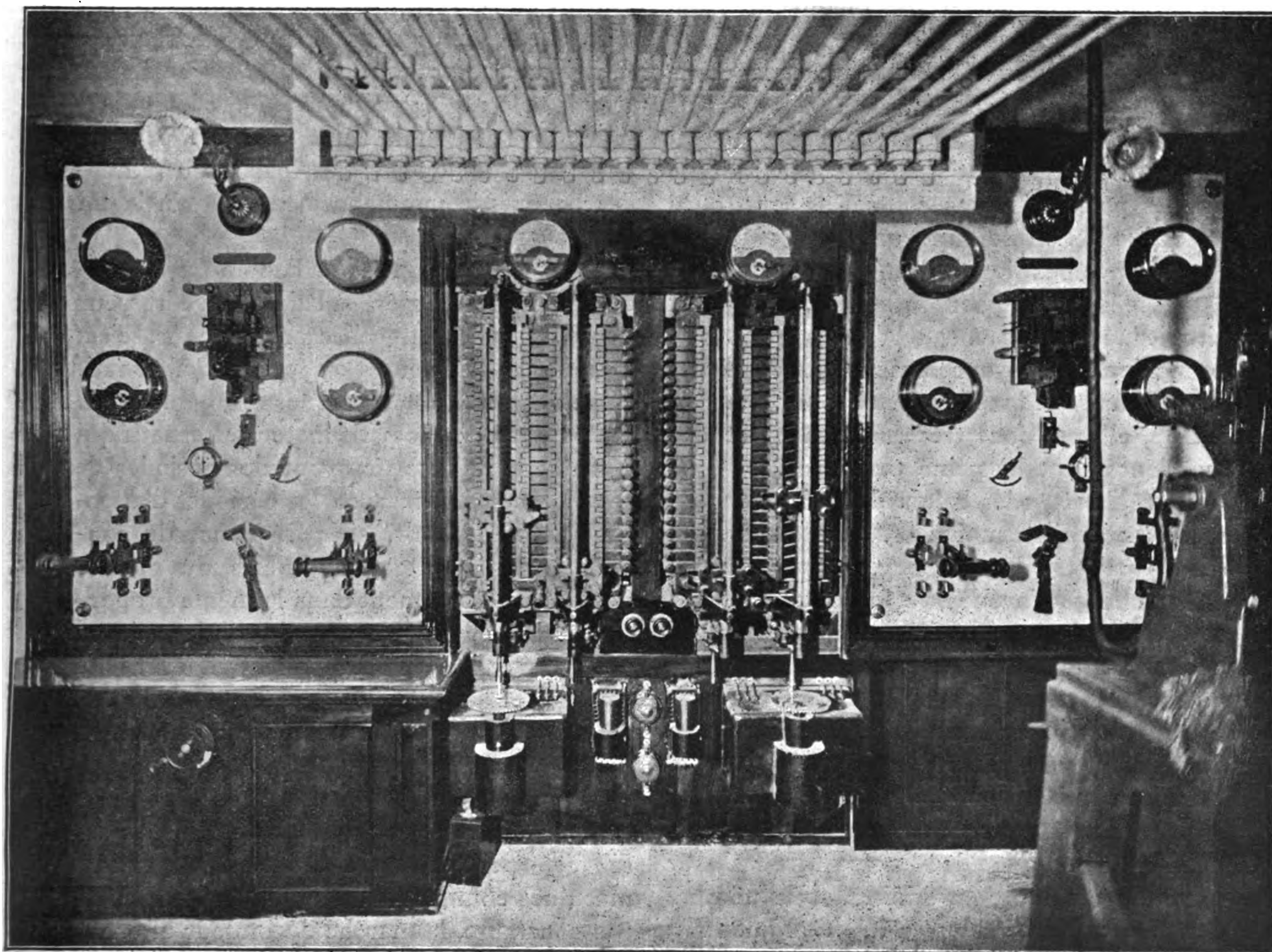


Fig. 8. — Vue du tableau de distribution de la sous-station de la « Tonhale. »

redresseur étant alors prêt à fonctionner, on abaisse ses balais, on s'assure que le commutateur U U est bien dans la position où la batterie est reliée au redresseur, et que la résistance d'eau W W est bien intercalée dans le circuit, puis l'on place le commutateur U M à la position de charge ; on ferme le commutateur UB sur la demi-batterie que l'on veut charger. Il ne reste plus qu'à envoyer le courant alternatif dans le tambour W du redresseur, mais il taut que les connexions se trouvent établies de telle sorte que les pôles positif et négatif du courant redressé soient reliés au pôle correspondant des accumulateurs. L'inverseur U P étant au repos dans sa position intermédiaire isolée, on le pousse d'un côté, à gauche par exemple. La batterie se trouve alors reliée au circuit du courant redressé mais presque à circuit ouvert, à cause de la résistance très grande de la cuve à eau

W W ; il ne peut donc arriver aucun accident, même si la batterie est réunie à contre-sens. Pour voir si les pôles de même nom ou de nom contraire sont reliés ensemble, on appuie sur un bouton de contact (non représenté sur la fig. 5) qui intercale en dérivation sur la résistance à eau deux lampes à incandescence en série. Si les lampes restent sombres, les connexions sont bonnes et l'on ne touche pas à l'inverseur ; si les lampes s'éclairent vivement cela indique que les pôles de noms contraires sont reliés ensemble et l'on doit mettre l'inverseur U P dans l'autre position. Une fois que l'inverseur est dans la bonne position, on ferme en court circuit la résistance à eau W W, et à partir de ce moment la charge commence. Ces diverses opérations sont longues à expliquer, mais en réalité, elles se font très rapidement et demandent au total à peine 5 minutes.

On règle alors les balais du redresseur de façon à obtenir le moins d'étincelles possible sur les palettes du tambour. Mais à mesure que la charge s'avance, la force contre-électromotrice des accumulateurs augmente. Si on laissait les choses en l'état il faudrait presque constamment changer la position des balais du redresseur pour éviter la production des étincelles au tambour ; en outre, le courant de charge diminuerait d'intensité.

On peut toutefois maintenir le régime de charge et le réglage des balais du redresseur par 2 moyens, soit en diminuant le nombre des éléments intercalés, soit en augmentant progressivement la tension de charge. D'habitude, on fait seulement usage du premier procédé, parce que dans les installations ordinaires la constance du courant de charge n'a pas grande importance ; mais avec les redresseurs, où il est nécessaire d'obtenir une régularité aussi complète que possible de la charge si l'on veut éviter les étincelles aux balais, on a préféré avoir recours à la fois aux deux modes de réglage : réglage par le nombre d'éléments et réglage par la tension.

Le réglage est effectué surtout par la tension, au moyen du transformateur survolteur U Z.

On intercale à la main un nombre variable de bobines dans le circuit secondaire de ce transformateur de façon à augmenter par fractions de 5 volts la tension alternative fournie au redresseur. Le régulateur qui fait varier le nombre des éléments de réglage, fonctionne automatiquement et ne sert qu'à terminer le réglage commencé par le survolteur. Avec ce double réglage on n'a presque pas besoin de toucher aux balais du redresseur depuis le commencement jusqu'à la fin de la charge.

Il y a pourtant un cas où l'on éprouve quelque difficulté à régler les balais du redresseur pour éviter les étincelles au tambour, c'est lorsque la fréquence du courant alternatif subit des variations brusques et importantes. Théoriquement, le petit moteur alternatif qui entraîne le redresseur ayant des périodes de rotation synchrone avec les périodes d'alternativité du courant, si la fréquence du courant varie, la vitesse angulaire du moteur doit varier exactement dans la même proportion et la concordance complète doit toujours subsister entre les changements de sens du courant et les périodes de commutation de ce même courant. En pratique, le synchronisme du moteur subsiste tant que les variations de la fréquence sont faibles, mais lorsque ces variations atteignent des valeurs assez fortes, ce qui arrive lorsque la vitesse des machines commandant les alternateurs n'est pas constante, la marche du moteur alternatif s'écarte du synchronisme et les balais du redresseur crachent un peu, parce qu'alors la rupture du courant ne s'établit plus au moment de l'égalité des forces électromotrice et contre-électromotrice. Le fait a été constaté à Zurich : lorsque les alternateurs sont actionnés par les turbines à basse pression simplement régularisées par des turbines à haute pression, la vitesse de l'arbre moteur est loin d'être constante et les redresseurs donnent des étincelles assez fortes. Au contraire, lorsque les alternateurs sont commandés exclusivement par les turbines à haute pression

qui donnent une vitesse pratiquement constante, le fonctionnement des redresseurs devient très bon.

Ce déréglage du moteur tient probablement à l'impédance élevée introduite par le moteur lui-même dans le circuit secondaire de son transformateur, tandis que le circuit secondaire du transformateur qui alimente le redresseur n'en a presque pas. Les courants alternatifs du moteur et du redresseur présentent donc un certain décalage l'un par rapport à l'autre. Ce décalage n'a pas d'inconvénient tant que la fréquence reste constante parce qu'on le supprime par le réglage des balais du redresseur, mais il devient gênant lorsque la fréquence varie, non pas parce qu'il varie, mais parce que sa variation n'est pas proportionnelle à celle de la période des courants. On pourrait peut être supprimer ce petit inconvénient en rendant exactement égale l'impédance des 2 circuits du moteur et du redresseur par l'interposition d'un petit condensateur de capacité convenable.

Nous complèterons la description de l'installation électrique de Zurich en donnant quelques renseignements sur les conditions d'exploitation de l'usine, renseignements que nous avons puisés dans les comptes rendus de la Ville, mis avec complaisance à notre disposition. Ces renseignements sont intéressants en ce qu'ils sont officiels et établis sans parti pris, tandis que les rares documents que les sociétés privées veulent bien communiquer contiennent souvent des chiffres exagérés ou de fantaisie.

L'éclairage public n'a pas plus d'importance à présent qu'à l'ouverture de l'usine, il comprend toujours 41 lampes à arc. Par contre, l'éclairage privé a subi dans ces dernières années un accroissement considérable. Au 1er janvier 1893, le nombre des abonnés n'était que de 321, représentant une installation de 5 340 lampes de 16 bougies; au 1er janvier 1894 on comptait 392 abonnés avec 7 145 lampes de 16 bougies installées, au 1er décembre 1894, on avait 517 abonnés avec 10 620 lampes de 16 bougies; au 1er décembre 1895, on avait 620 abonnés avec 18 652 lampes de 16 bougies; enfin au 1er février 1896 le chiffre des abonnés est monté à 700, représentant une installation d'éclairage électrique de 19 452 lampes de 16 bougies.

Jusqu'en 1894, la station n'avait aucun moteur chez ses abonnés: au 1er décembre 1895 elle en comptait 19, représentant une puissance de 40 chevaux. Actuellement le nombre des moteurs installés est encore très faible, car il ne dépassait pas, au 1er février 1896, 60 machines d'une puissance de $\frac{1}{10}$ de cheval à 6 chevaux, développant au total 100 chevaux. L'accroissement survenu en 1895 provient des installations qui ont été faites dans les petits ateliers du quartier de l'Industrie depuis que cette région possède un feeder de distribution.

Les moteurs asynchrones monophasés installés chez les abonnés proviennent des ateliers d'Oerlikon ou de la maison Brown, Boveri et Cie. Ils sont tous du type à induit mobile, fermé sur lui même sans collecteur ni balais. Ils peuvent supporter facilement une surcharge de 10 pour 100, mais ne peuvent démarrer qu'à vide et sont munis à cet effet d'une poulie folle. Le démarage est effectué au moyen, soit d'une bobine d'induction soit d'un système de condensateur avec bobine de self induction, afin de faire marcher au début le moteur avec des courants biphasés; les abonnés se sont vite accoutumés à cette manœuvre.

On a constaté que les moteurs d'une puissance inférieure à 3 chevaux, qui sont les plus nombreux, peuvent être installés en un point quelconque du réseau secondaire, entre les 2 fils à 210 volts, sans gêner les lampes à incandescence du même circuit. Mais les moteurs plus gros, de 3 à 10 chevaux, pour ne pas apporter de trouble dans le circuit d'éclairage, doivent être placés en des points convenables du réseau secondaire tout près du poste de transformateur.

Au début, le courant était vendu à forfait

à la majeure partie des abonnés. Mais les irrégularités attachées à cette méthode de taxation étaient réduites autant que possible, car le tarif n'était pas uniforme et compté tant par lampes ; on calculait le forfait d'après la durée probable d'allumage des différentes lampes installées. On a pu constater, en suivant la consommation de quelques abonnés, que la différence entre l'énergie livrée et l'énergie payée était très faible, 4 pour 100 environ, et toujours à l'avantage des abonnés. Néanmoins ceux-ci se plaignant souvent, la station a fortement engagé les anciens abonnés à se servir de compteur et à imposé ensuite le compteur à tous les nouveaux abonnés, afin d'éviter les contestations et de pouvoir en même temps se rendre un compte exact du courant réellement consommé. Le nombre des compteurs installés, qui n'était que de 37 au 1er janvier 1893, et de 91 au 1er jan-

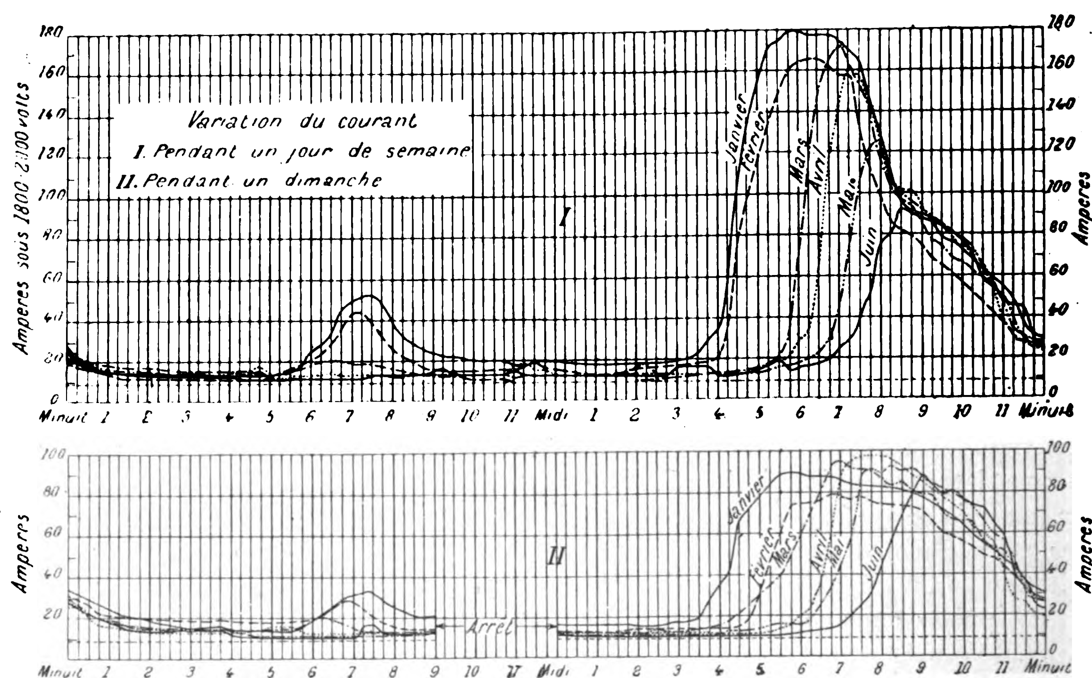


Fig. 9. — Variation du courant aux différentes heures de la journée pendant le 1er semestre de l'année.

vier 1894, s'est élevé à 213 au 1er décembre 1896, et a atteint 400 appareils au 1er février 1896, c'est à dire qu'actuellement la majorité des abonnés possède des compteurs, presque exclusivement mis en location, et appartenant au type Thomson-Houston.

Les contrats à forfait ont été calculés de façon à faire payer environ 0,70 fr le kilowatt-heure. plus une taxe fixe annuelle de 10 fr par lampe. Cette taxe fixe était très forte et majorait beaucoup le prix de vente du courant, car on a constaté qu'en 1893 les abonnés pris dans leur ensemble, avaient payé le kilowatt-heure 0,96 fr. Cette taxe avait pour effet d'empêcher un grand nombre de personnes de s'abonner, surtout pour les clients qui n'avaient besoin que d'une faible durée d'allumage journalier et sur lesquels la taxe fixe aurait pesé trop lourdement. Afin de hâter le développement de la consommation, la Ville a décidé, au commencement de 1894, d'abaisser de 10 à 5 fr la taxe fixe annuelle par lampe ; on a vu plus haut, par le développement des installations faites chez les abonnés, l'heureux résultat de cette mesure. Les nouveaux abonnés au compteur ont été tarifés, en dehors de la taxe fixe annuelle de 5 fr par lampe, à raison de 0,70 fr par kilowatt-heure mesuré, avec des réductions plus ou moins importantes pour les gros consommateurs.

Les moteurs ont été exemptés d'une taxe fixe, mais on les a astreints à l'emploi du compteur; le courant qu'ils absorbent n'est payé que 0,35 le kilowatt-heure, mais sans aucun rabais. On voit par ces chiffres que le courant est vendu à un prix très raisonnable, dont nous sommes loin, à Paris tout au moins.

Tous les services municipaux, d'eau, de gaz et d'électricité ont leurs bureaux réunis dans un même local situé au Bahnofbrücke. (pont de la gare du chemin de fer). Le service électrique se charge, non seulement de la livraison du courant, mais de l'installation des branchements et appareillage des abonnés et de la fourniture des lampes à incandescence. Ces deux branches du service, qui n'ont été créées que pour faciliter l'installation des abonnés, sont justement celles qui proportionnellement rapportent les plus gros bénéfices; en 1893 par exemple, elles ont causé 83 932 fr de dépenses et ont donné 91 857 fr de recettes, soit un bénéfice de 7 955 fr.

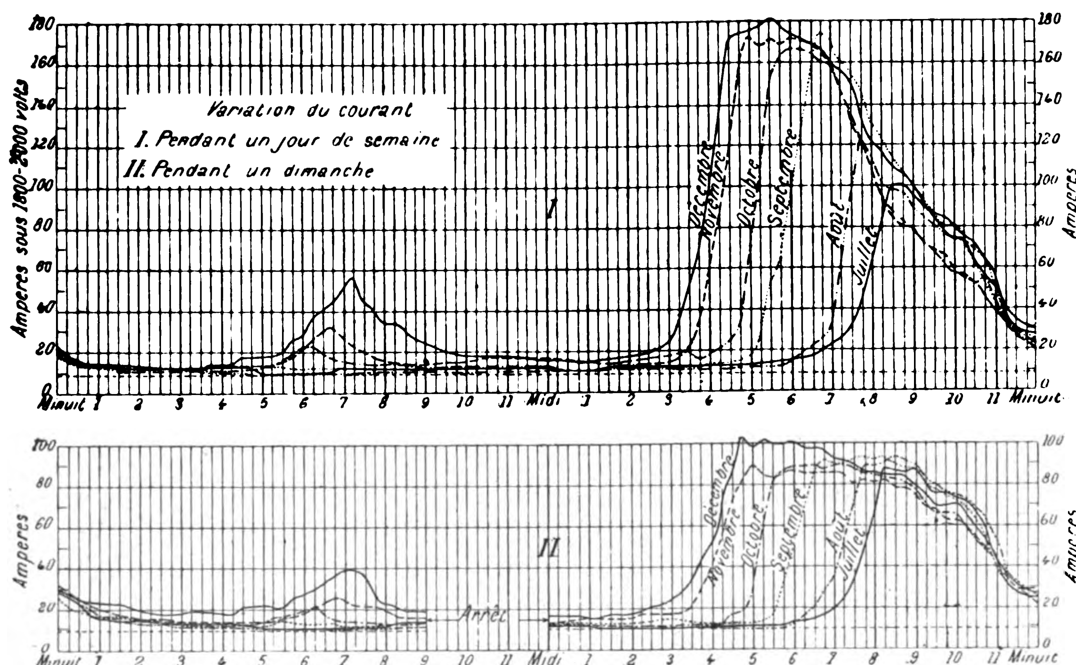


Fig. 10. — Variation du courant aux différentes heures de la journée pendant le 2e semestre de l'année.

Pour la fourniture du courant, c'est à dire pour le service principal, au contraire les recettes n'arrivent pas tout à fait à équilibrer les dépenses. En 1893, par exemple, les recettes ont été de 248 296 fr et les dépenses de 251 314,80 fr. Par conséquent, si les services électriques ont rapporté un léger bénéfice de 5 937,20 fr c'est grâce au boni provenant des installations et des lampes ; la fourniture seule du courant aurait donné un déficit de 3 018 fr. On a calculé ainsi qu'en 1893, la production du kilowatt-heure livré aux abonnés a coûté 0,98 fr et n'a donné qu'une recette de 0,96 fr y compris la taxe fixe.

Pendant les 11 premiers mois de l'année 1895 les recettes totales ont été, sans compter les installations et la vente des lampes, de

	249 176 fr.
et les dépenses de	251 029 fr.
soit un déficit de	1 853 fr. seulement,

qui se convertirait en un bénéfice supérieur à celui de 1893 si l'on y ajoutait le boni des installations et de la vente des lampes. Si l'on réfléchit que le mois de décembre est l'un des mois les plus productifs de l'année on voit que la situation financière s'est améliorée

pendant 1894, malgré la réduction de 10 à 5 fr de la taxe fixe.

Nous ne connaissons pas les chiffres exacts de 1895, mais l'Ingénieur des services techniques nous a dit que la situation financière s'était encore améliorée dans le cours de cette année, car le chiffre des recettes est parvenu à balancer les dépenses pour la fourniture du courant seul. La taxe fixe a été maintenue à 5 fr depuis 1894.

Les résultats seront certainement encore meilleurs pendant l'année 1896, puisque depuis l'installation de la nouvelle Tonhalle l'usine effectue un travail important pendant le jour et utilise ainsi beaucoup mieux son matériel.

Les chiffres que nous venons de citer montrent que les résultats de l'exploitation sont de plus en plus satisfaisants, mais il ne faut attacher qu'une très minime importance à la valeur absolue de ces chiffres qui ne représentent en réalité qu'une balance d'écritures.

En effet, d'un côté la Ville évalue l'amortissement de son matériel à des taux variables suivant l'état de ses affaires. C'est ainsi qu'en 1893 on a compté 5 pour 100 d'amortissement sur les machines et transformateurs, 3 pour 100 sur les canalisations et 5 pour 100 sur l'installation de l'éclairage public tandis qu'en 1894 on a compté 10 pour 100 sur les machines et transformateurs, 6 pour 100 sur les canalisations et 5 pour 100 sur l'éclairage public.

D'un autre côté l'énergie hydraulique utilisée par les services électriques est fournie par l'installation principale déjà existante du Service des eaux, c'est à dire que la Ville est en même temps fournisseur et client. Dans ces conditions on pourrait croire que la force motrice hydraulique est portée pour une somme très faible au compte électricité ou même n'est pas comptée du tout. Tout au contraire, par une bizarrerie de comptabilité bien administrative, le Service des eaux compte le cheval-heure au Service électrique à un taux absolument exagéré; jusqu'en 1894 le service électrique a payé le cheval-heure fourni par les turbine 0,12 fr.; c'est à dire à peu près le même prix que s'il avait été produit par une installation spéciale de chaudières et machines à vapeur C'est ainsi qu'en 1893, sur 198 729 fr de dépenses réelles (c'est à dire les dépenses totales moins l'amortissement) le réseau électrique a payé, rien que pour la consommation d'eau, 108 706 fr soit 54 pour 100 des dépenses réelles. Le service électrique ayant protesté contre ce chiffre exagéré, le Service des eaux a consenti à réduire en 1894 le prix du cheval heure à 0,08 fr. Malgré cette diminution de tarif l'achat de l'eau représente encore en 1894 une somme de 87 047 fr sur un total de dépenses réelles de 126 802 fr, soit un rapport de 62 pour 100, plus élevé qu'en 1893 à cause de la diminution des frais généraux résultant de l'accroissement du nombre d'abonnés. Il est certain que le tarif de 0,08 le cheval heure est encore trop élevé puisque l'usine électrique n'absorbe en réalité que l'excédent de l'eau arrivant à l'usine élévatoire de la ville.

Comme dans toutes les stations centrales dont le courant est employé presque uniquement à l'éclairage, la charge à l'usine varie beaucoup dans les différentes heures de la journée. Comme on le voit sur les fig. 9 et 10, le courant consommé est presque nul de minuit à 6 heures du matin et ne dépasse guère la valeur constante de 9 ampères dépensée à circuit ouvert par les transformateurs du réseau. De 6 heures à 7 heures 1/2 la consommation s'élève un peu (jusqu'à 45 ampères en hiver) pour redevenir très faible à partir de 9 heures du matin, au moment où l'éclairage du matin est terminé. La charge est presque nulle pendant toute la journée car la station n'alimente que très peu de moteurs, la véritable consommation n'a lieu que de 4 heures à minuit. C'est en janvier et en décembre que l'on observe les courants les plus intenses; ces maxima, de 180 ampères, se produisent alors vers 5 heures du soir. C'est en juin qu'on trouve le courant minimum, de 92 ampères, qui se produit à 8 heures 20 du soir. De janvier à juin les courants maxima ont une valeur de plus en plus faible et ont lieu de plus en plus tard; le phénomène inverse se

produit de juillet à décembre. Il faut en excepter pourtant le maximum de mars qui est plus élevé que celui de février, et le maximum de septembre qui est plus élevé que celui d'octobre. Cette anomalie n'est qu'apparente ; elle vient de ce que l'éclairage public des quais est réduit dans une proportion très forte pendant les mois d'hiver, et qu'il est précisément rétabli en plein au 1er mars et fonctionne encore pendant le mois de septembre.

Les maxima de courant sont à peu près égaux à deux fois la valeur des minima. La faible valeur de ce rapport tient uniquement au très petit nombre de moteurs branchés sur le réseau, car on ne peut espérer améliorer la durée moyenne d'éclairage des lampes : 750 heures environ par an, chiffre qui n'est même pas atteint dans toutes les stations.

L'usine de Zurich dessert à peu près une

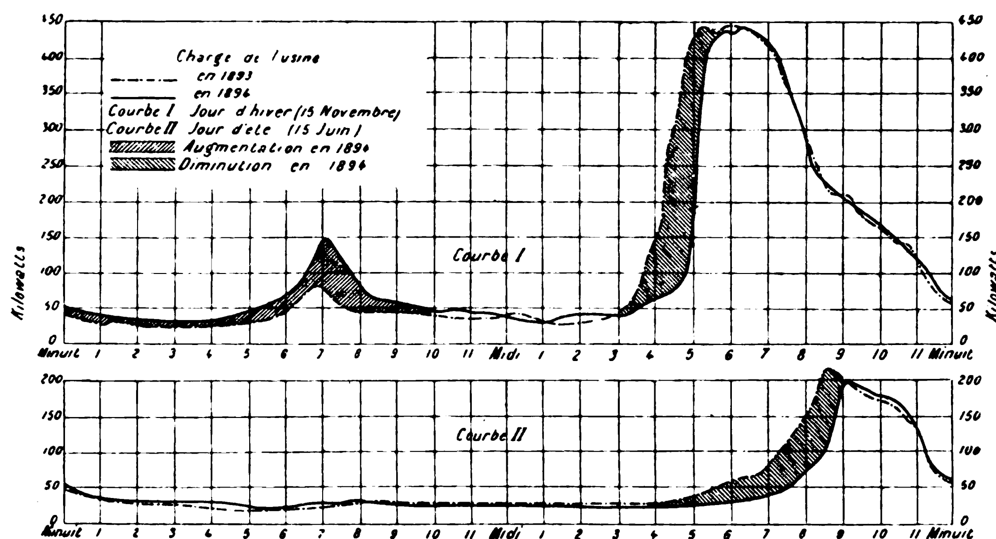


Fig. 11. — Courbe de variations du courant aux différentes heures de la journée avant et après l'adoption de l'heure de l'Europe centrale.

égale partie des établissements industriels et des établissements de plaisir. On le constate très bien en comparant la consommation de jours de semaine et des dimanches. Pendant l'hiver le maximum de courant est moitié moindre le dimanche qu'en semaine, à cause de la fermeture des ateliers, tandis qu'en juin et juillet où les plus gros consommateurs sont les cafés, le maximum du courant est presque aussi fort le dimanche qu'en semaine, et il représente alors à peu près la moitié de celui de décembre.

Dans le courant de la semaine, la consommation du courant subit également une certaine variation, et va généralement en croissant du dimanche au samedi avec un maximum très prononcé le samedi parce que c'est « la veille du dimanche », comme dirait M. Prudhomme, et qu'alors les habitants s'attardent volontiers dans les cafés ou « Restauratione ».

La Suisse employait autrefois l'heure fédérale, mais on sait qu'elle fait usage de l'Europe centrale. La différence entre l'heure locale et l'heure de l'Europe centrale est très considérable à Zurich, et a eu une influence très sensible sur la consommation du courant, ainsi qu'on le voit sur la figure 11. Pendant toute l'année, aussi bien dans les jours d'hiver tels que le 15 novembre (courbe I) que dans les jours d'été tels que le 15 juin (courbe II) le crépuscule se produisant à une heure plus avancée depuis l'adoption de l'heure de l'Europe centrale, l'allumage et le maximum d'éclairage du soir ont eu lieu 3/4 d'heure

environ plus tard en 1894 qu'en 1893, tandis que l'activité nocturne ne s'est pas prolongée au-delà de l'heure marquée. Il en est résulté, pendant la période importante du soir, une très notable diminution du courant consommé, dont on peut apprécier l'importance par la partie hachée des courbes I et II. Par contre, l'aurore ayant lieu plus tard, la consommation de courant au moment de l'allumage du matin a été relativement beaucoup plus forte en 1894 qu'en 1893 pendant les jours d'hiver : la partie hachée en sens contraire sur la courbe I représente l'augmentation de la consommation du matin, le 15 novembre. Mais en été, au 15 juin par exemple, le retard de l'aurore n'a eu aucune influence sur la consommation du courant comme on le voit sur la courbe II, parce qu'à cette époque de l'année personne n'allume le matin. D'ailleurs, même en hiver, la consommation du matin ne représente qu'une faible portion de la consommation totale, de sorte que l'augmentation de consommation du matin pendant les jours d'hiver est loin de compenser la diminution permanente de consommation du soir. L'adoption de l'heure de l'Europe centrale en Suisse a donc eu pour effet de diminuer très sensiblement le courant fourni annuellement, c'est à dire les recettes encaissées par l'usine électrique de Zurich. Il est certain que les stations situées à l'extrémité est de la zône de l'Europe centrale ont dû observer un résultat inverse.

On peut prévoir d'après les courbes des figures 9 et 10 du courant consommé dans une journée, comment doit varier pendant le cours de l'année l'énergie électrique produite à l'usine pendant les 24 heures de la journée. Cette puissance croît régulièrement du milieu de juin au milieu de décembre, tandis qu'elle décroît ensuite du milieu de décembre au milieu de juin de l'année suivante. La charge minima est environ le 1/3 de la charge maxima. En 1893, le minimum de l'énergie produite est de 650 kilowatts-heure et le maximum est de 2 000 kilowatts-heure. En 1894, la puissance électrique produite à l'usine a notablement augmenté : son minimum est de 900 kilowatts-heure et son maximum de 2 700 kilowatts-heure. La charge moyenne est de 110 kilowatts-heure en 1893 et de 147 kilowatts-heure en 1894. Nous ne possédons pas les chiffres mois par mois de l'année 1895, mais nous savons que la puissance moyenne produite par jour a été de 217 kilowatts-heure.

L'énergie électrique totale annuelle produite à l'usine primaire a été :

En 1893 de 400 765 kilowatts-heure.
En 1894 de 537 710 —
En 1895 de 792 200 —

La puissance électrique correspondante annuelle vendue aux abonnés a été :

En 1893 de 293 013 kilowatts-heure.
En 1894 de 376 397 —
En 1895 de 610 000 —

d'où l'on déduit que le rendement électrique moyen de l'usine, comprenant la perte dans les dynamos et dans les canalisations primaires et secondaires, a été :

En 1893 de 73 pour 100,
En 1894 de 70 pour 100,
En 1895 de 77 pour 100.

Ce rendement électrique total moyen comprend plusieurs parties : Le rendement des dynamos et celui des transformateurs à pleine charge sont très élevés et à peu près constants. Le rendement moyen de la canalisation secondaire est moins élevé mais à peu près constant. Le rendement moyen de la canalisation est le facteur qui contribue à rendre le rendement total variable. Si ce dernier a diminué dans l'année 1894, par exemple, c'est parce que l'on a augmenté la longueur de la canalisation primaire en se servant toujours d'un seul feeder de distribution ; en 1895 au contraire, où l'on a diminué la charge de la canalisation primaire, par la création d'un second centre de distribution alimenté par un feeder spécial le rendement total est remonté aussitôt.

Reste un dernier facteur qui est à peu près constant mais a une importance considérable : c'est lui qui donne au rendement électrique

total *moyen* une valeur aussi basse ; il s'agit de la perte dans le noyau de fer des transformateurs par courant de Foucault et hystérésis. En examinant la figure, on se rend compte de l'importance de cette perte qui reste *constante*, et qui prend une valeur relative très grande pendant la plus grande partie de la journée où les transformateurs travaillent presque à circuit ouvert. Malheureusement, toutes les distributions de courant alternatif sont dans le même cas. Il existe divers dispositifs permettant de supprimer partiellement la communication des circuits primaires des transformateurs avec le réseau de distribution pendant les heures de faible charge. Mais la dépense d'établissement de ces dispositifs, jointe à la complication qu'ils entraînent, compense à peu près le prix de l'énergie qu'ils économiseraient ; aussi hésite-t-on beaucoup à les employer.

L'énergie totale mécanique absorbée annuellement sur l'arbre principal des turbines et payée au Service des eaux a été :

En 1893 de 654 970 kilowatts-heure ou 858 067 chevaux-heure,
en 1894 de 710 100 kilowatts-heure ou 959 500 chevaux-heure,
en 1895 de 101 100 kilowatts-heure ou 1 366 200 chevaux-heure.

Le rendement mécanique de l'installation, comprenant l'énergie perdue dans les diverses transmissions des machines et l'énergie dépensée pour actionner les excitatrices, a été :

en 1893 de 61 pour 100,
en 1894 de 75 pour 100,
en 1895 de 78 pour 100.

Ce rendement a été très bas en 1893 parce que pendant la moitié de l'année la transmission tout entière, qui absorbe beaucoup d'énergie, restait en mouvement pendant la journée. En 1894, où l'on a pu laisser constamment au repos pendant la journée la plus grande partie de la transmission, grâce à l'alternateur de jour, le rendement mécanique s'est amélioré beaucoup. En 1895, l'alternateur de jour a été supprimé, mais on a installé une nouvelle transmission n'absorbant pas plus pendant le jour ; le rendement s'est même légèrement accentué à cause de l'augmentation de l'énergie totale employée.

Sans parler du service de la fourniture des lampes et des installations intérieures qui forment un compte à part, le personnel de la station électrique proprement dite de Zurich est peu nombreux. Il comprend un ingénieur, un ingénieur-adjoint, et à l'usine 2 mécaniciens-électriciens et 2 aides servant de chauffeurs lorsqu'on fait marcher les machines à vapeur. Aucun personnel n'est placé dans les deux sous-stations ou centres de distribution de Rüden et de Kreuzplatz. A la station à accumulateurs de la nouvelle Tonhalle se trouvent un électricien et un aide.

Toutes les machines de l'usine primaire de Letten sont arrêtées le dimanche de 9 heures à midi. Les machines, qui marchent nuit et jour sans interruption pendant tout le reste de la semaine, sont visitées pendant ces 3 heures de repos.

La canalisation et surtout la canalisation primaire sont surveillées avec beaucoup de soin. L'isolement des feeders et de quelques câbles principaux primaires, est vérifié régulièrement toutes les quinzaines ; les câbles primaires restants sont vérifiés au moins une fois l'an. Les mesures se font le dimanche matin pendant l'arrêt des machines, en opérant par la méthode de la perte de charge. Le matériel de mesure est transporté, soit à la station primaire de Letten, soit dans l'une des deux sous-stations de Rüden ou de Kreuzplatz ; il se compose tout simplement d'une petite batterie de 50 petits éléments Leclanché, en pâte semi-humide, de 8 cm $\times$ 4 cm $\times$ 4 cm renfermés dans une boîte pesant 10 kgs environ et d'un galvanomètre portatif pesant 2 kgs environ.

Lorsque l'ingénieur de la station de Zurich nous a fait visiter son installation, quel n'a été notre étonnement de retrouver dans la sous-station de Rüden, sur le quai de la Limmat, un vieil ami dont nous étions sans nouvelles depuis longtemps ! Nous vou-

lons parler du galvanomètre portatif qui sert aux mesures d'isolement. C'est en effet un appareil sortant de la maison Carpentier, de Paris, ayant exactement les mêmes dimensions et présentant rigoureusement les mêmes dispositions qu'un modèle de galvanomètre Desprez d'Arsonval que nous avions établi en 1889 à l'usine des Halles. Cet appareil, que nous avons présenté au Congrès des Électriciens de 1889 et décrit dans *La Lumière Électrique* (¹), devait être monté sur le tableau à courant alternatif et servir à faire à l'usine même des mesures fréquentes de l'isolement de l'ensemble du réseau à 2 400 volts, mais en réalité il n'a pas été monté sur le tableau de distribution et a servi, croyons-nous, comme galvanomètre portatif, pour la vérification des câbles concentriques en divers points du réseau alternatif.

L'appareil se compose simplement d'un galvanomètre Desprez d'Arsonval du type ordinaire mais plus ramassé et fixé dans le fond d'une boîte fermée en bois, au lieu de reposer à l'air sur un socle horizontal. Une des faces latérales de la boîte est munie d'une petite fenêtre avec réticule et miroir plan à 45° envoyant un faisceau de lumière sur le miroir. On observe la déviation de celui-ci au moyen d'une lunette portant une échelle micrométrique intérieure, qui traverse la porte antérieure de la boîte.

Les ingénieurs de la station de Zürich sont très satisfaits de cet instrument parce qu'il est à l'abri de la poussière et qu'il a l'avantage de permettre de faire des mesures de précision sans échelle et en plein jour. En outre, il est robuste et léger ; au moment du transport on peut loger la lunette dans la boîte et caler au repos la suspension de l'équipage mobile en tournant une vis d'arrêt ; il peut être alors transporté très facilement.

Les dynamos et transformateurs ont toujours fonctionné parfaitement ; les câbles n'ont donné lieu jusqu'à présent qu'à des réparations de peu d'importance. Les installations intérieures étant établies et vérifiées par le service municipal lui-même se trouvent toujours en très bon état. Aussi l'usine n'a-t-elle jamais reçu de plaintes d'abonnés protestant contre les extinctions subites ou le défaut de fixité de la lumière.

En résumé, l'exploitation de l'usine municipale de Zürich se fait dans de très bonnes conditions et donne entière satisfaction aux abonnés, dont le nombre s'est accru avec rapidité dans ces dernières années.

CH. JACQUIN.

(¹) Voir *La Lumière Électrique*, 23 novembre 1889, p. 301.

GALVANOMÈTRES (¹)

ÉLECTRODYNAMOMÈTRES.

On peut dans les galvanomètres remplacer l'aimant par une bobine de dimensions appropriées, traversée par le courant ; le système ainsi formé est appelé électrodynamomètre. Le calcul en valeur absolue du courant qui passe dans un électrodynamomètre, peut être fait à la condition que celui-ci soit de dimensions assez grandes pour que les mesures géométriques soient très précises, et en outre construit de façon à réduire au minimum les termes de correction ; dans la pratique, on se contente, comme pour la plupart des galvanomètres, de déterminer expérimentalement un certain coefficient qui est fonction de la forme, des dimensions et de l'enroulement des bobines.

Si nous considérons d'une part une bobine fixe enroulée de N tours de fil, traversée par un courant I, le champ magnétique *moyen* créé dans son intérieur est proportionnel à

$$\mathcal{A} N I ;$$

d'autre part, la bobine mobile de n tours placée au centre de la première et traversée par le même courant, peut être assimilée à un aimant dont le moment est proportionnel à

$$\mathcal{C} n I ;$$

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 5 et du 12 septembre, p. 454 et p. 506.

$\mathcal{A}$ et $\mathcal{C}$, sont des coefficients qui dépendent de la forme et de la grandeur des bobines.

Si la bobine *fixe* est placée de telle sorte que son axe fasse un angle β avec le méridien magnétique, le moment du couple électrodynamique, équilibré par le couple mécanique, a une valeur telle que

$$(\mathcal{H} \cos\beta + \mathcal{A} N I) \mathcal{C} n I \cos\alpha = W \sin\alpha,$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\mathcal{C} n \mathcal{H} I \cos\beta + \mathcal{A}\mathcal{C} N n I^2}{W}. \qquad (25)$$

On voit qu'à la condition que $\mathcal{H} \cos\beta$ soit petit par rapport à $\mathcal{A}N$, *la déviation ne change pas de sens quel que soit le sens du courant* ; pour obtenir une déviation de sens inverse, il faut changer la direction du courant *dans une seule des bobines*; le renversement du courant dans les deux bobines à la fois a pour effet de donner des valeurs inégales de α positive et négative, mais si nous prenons la moyenne de ces valeurs,

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_{+} + \operatorname{tg}\alpha_{-}}{2} = \frac{\mathcal{A}\mathcal{C} N n I^2}{W}, \qquad (26)$$

le terme en $\mathcal{H}$ disparaît, nous n'avons plus à tenir compte que des valeurs constantes de l'appareil : $\mathcal{A}$, $\mathcal{C}$, N, n et W. Il vaut encore mieux, en pratique rendre $\cos\beta$ nul en orientant la bobine à 90° du méridien.

Dans l'observation des courants continus, il suffit de mesurer α_{+} et α_{-} ; pour les courants alternatifs, le renversement se fait un grand nombre de fois par seconde et la bobine mobile prend une position moyenne correspondant à $\frac{\alpha_{+} + \alpha_{-}}{2}$.

Nous avons supposé dans tout ceci que la déviation α était assez petite pour modifier très peu l'angle des deux bobines, c'est le cas pour les électrodynamomètres à miroir dont le type est celui de Weber qui est un des rares instruments *sensibles* pour la mesure directe de l'intensité des courants alternatifs.

Électrodynamomètre Weber. — Cet appareil se compose (fig. 17) d'une bobine fixe dont la projection perpendiculaire à l'axe est une couronne elliptique, et la section génératrice un rectangle. La bobine mobile, cylindrique, est enroulée sur un noyau en ivoire ; elle est portée par un étrier muni d'un large miroir et est suspendue par deux fils d'argent dont l'écartement peut être réglé au moyen de vis ; les deux fils servent en même temps à l'arrivée et à la sortie du courant.

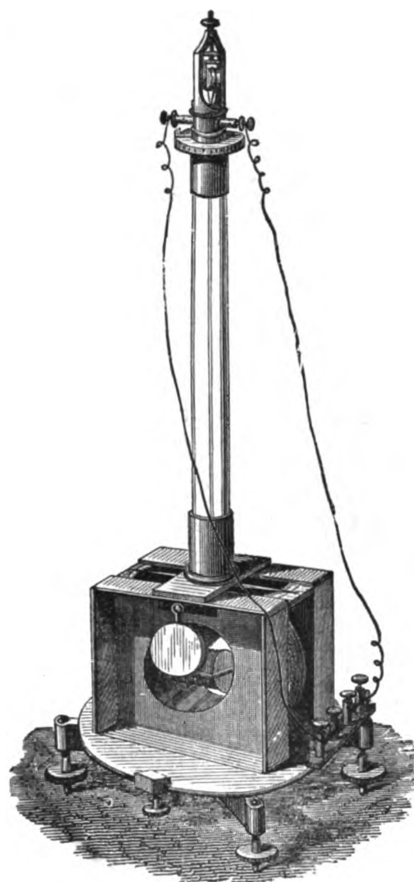


Fig. 17. — Électrodynamomètre Weber.

Bien que la suspension bifilaire donne un couple proportionnel à sin α, nous pouvons confondre le sinus et l'angle, et écrire :

$$\text{moyenne } \alpha = \frac{\mathcal{A}\mathcal{C} N n I^2}{W},$$

ou en remplaçant W, qui est variable à cause de l'écartement des fils, par sa valeur tirée de T, nous avons :

$$\text{moyenne } \alpha = \frac{\mathcal{A}\mathcal{C} N n}{\pi^2 K} \frac{T^2}{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} I^2; \qquad (27)$$

le premier terme du second nombre ne ren-

ferme que des grandeurs constantes, c'est l'analogue des facteurs G et Φ des galvanomètres. La grande masse de la bobine mobile de cet électrodynamomètre, le peu de résistance de l'air, par suite sa grande durée d'oscillation et son faible amortissement, le rendent très peu pratique ; il est à peu près impossible de l'observer en équilibre, on calcule sa position stable par la moyenne des oscillations.

Électrodynamomètres en dérivation. — Nous avons jusqu'ici envisagé le cas où les deux bobines sont placées en série; on peut également les placer en dérivation. Dans ce cas encore, la déviation ne change pas de sens avec le courant, puisque le changement se produit en même temps dans les deux bobines; par conséquent l'appareil peut servir pour les courants alternatifs, mais alors le problème se complique. En effet, pour un courant continu, en appelant R_1 et R_2 les résistances des deux bobines, I_1 et I_2 les intensités qui les traversent, nous avons le rapport

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1},$$

Mais si nous mesurons un courant alternatif de fréquence $\frac{\omega}{2\pi}$, le rapport $\frac{I_1}{I_2}$ devient, en appelant L_1 et L_2 les coefficients de self-induction des deux bobines,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 \sqrt{1 + \frac{\omega^2 L_2^2}{R_2^2}}}{R_1 \sqrt{1 + \frac{\omega^2 L_1^2}{R_1^2}}},$$

c'est à dire que le rapport des intensités varie avec la fréquence ; il faut alors étalonner l'instrument pour chaque fréquence employée, à moins que les rapports $\frac{L_1}{R_1}$ et $\frac{L_2}{R_2}$ ne soient égaux ; dans ce cas, on a encore

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Cette cause d'erreur ne trouble ordinairement pas beaucoup les mesures, parce que les appareils ainsi construits sont des appareils industriels dont la précision est insuffisante pour rendre apparent le facteur

$$\sqrt{\frac{1 + \frac{\omega^2 L_2^2}{R_2^2}}{1 + \frac{\omega^2 L_1^2}{R_1^2}}},$$

mais il est utile de la signaler pour montrer qu'il faut rendre ce terme aussi voisin que possible de 1.

Nous n'avons considéré que l'effet de la self-induction ; l'induction mutuelle, au cas où les bobines n'ont pas leurs axes à 90° l'un de l'autre, tend à diminuer la self-induction, mais son action est en général assez faible dans les électrodynamomètres proprement dits.

Électrodynamomètres divers. — L'effet de l'induction mutuelle est très important dans le cas des courants alternatifs, puisqu'on a pu baser des instruments sur le principe : Dans une bobine fixe se trouve un disque ou un circuit fermé de cuivre rouge, dont le plan fait un angle de 45° avec le plan des spires ; lorsqu'un courant alternatif vient à passer dans la bobine, il développe dans le disque des courants induits dont l'intensité moyenne dépend de sa fréquence et de son intensité moyenne, de telle sorte qu'on peut écrire l'équation d'équilibre sous la forme

$$\frac{\mathcal{A} N L_m \omega I^2}{r} \cos\varphi = W\alpha. \qquad (28)$$

L_m coefficient d'induction mutuelle entre la bobine et le disque ;

r la résistance apparente ou impédance du disque ;

φ l'angle de retard du courant induit sur le courant I.

On classe également dans les électrodynamomètres un galvanomètre dont l'aimant mobile est remplacé par un faisceau de fils de fer doux ; le principe de cet instrument est dû à Bellati ; la figure 18 le représente sous la première forme que lui a donnée Giltay ; une bobine fixe, plate, analogue à celle des galvanomètres Nobili, renferme dans

son centre un faisceau de fils de fer très doux suspendu par un fil métallique fin.

Au repos, le faisceau qui doit toujours être perpendiculaire au méridien magnétique est à 45° de l'axe de la bobine; le miroir monté à frottement doux sur la tige qui porte le faisceau peut être orienté de façon à être toujours en face de l'observateur, quelle que soit la position de celui-ci. Dans ces conditions, si

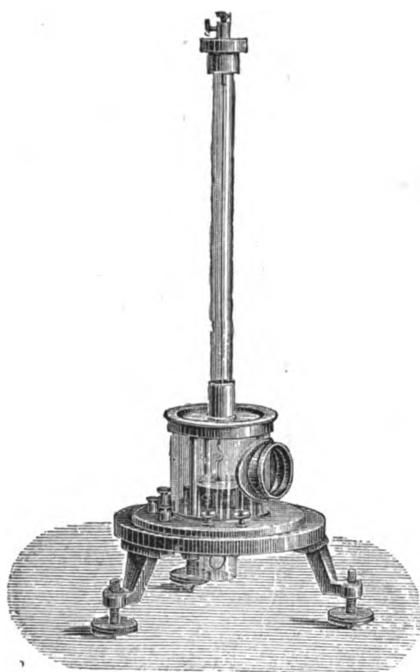


Fig. 18. — Électrodynamomètre Bellati.

le fer est réellement doux, le moment magnétique du barreau est nul; si on fait alors passer un courant dans la bobine et si on suppose, ce qui est approximativement vrai pour les faibles inductions, que la perméabilité du fer reste constante. on a pour un courant I donnant à 45° un champ magnétique

$$\mathcal{A}_1 N I,$$

le moment magnétique du faisceau

$$\mathcal{A}_1 N I \mathfrak{D},$$

$\mathfrak{D}$, coefficient dépendant des dimensions du faisceau et de la perméabilité du fer.

Le couple électromagnétique est donc

$$\mathcal{A}_1^2 N^2 I^2 \mathfrak{D},$$

et la déviation

$$\alpha = \frac{\mathcal{A}_1^2 N^2 \mathfrak{D}}{W} I^2, \qquad (29)$$

qui peut également se mettre sous la forme

$$\alpha = \frac{\mathcal{A}_1^2 N^2 \mathfrak{D}}{\pi^2 K} \frac{T^2}{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} I^2. \qquad (30)$$

Cette déviation est indifférente au sens du courant, au moins pour les faibles valeurs de α; cet instrument peut servir pour les courants alternatifs, comme d'ailleurs tous les électrodynamomètres. C'est en réalité l'appareil le plus sensible dont on dispose pour les courants alternatifs; on peut s'en servir pour mesurer des courants téléphoniques.

Shunts.

Dans un grand nombre de circonstances, il est nécessaire de réduire rapidement la sensibilité d'un galvanomètre, sans changer son réglage, par exemple lorsqu'il s'agit de mesurer successivement des courants de grandeurs très différentes; dans ce cas, au lieu de laisser passer dans le galvanomètre le courant total, on en dérive une partie.

Le moyen le plus simple à employer consiste, lorsqu'on connaît la résistance du galvanomètre, à mettre entre les bornes une boîte de résistances dont on peut faire varier la valeur jusqu'à ce que le galvanomètre soit amené à la déviation voulue.

Appelons g la résistance du galvanomètre et s la résistance en dérivation ou *shunt*; le courant total se partage en deux parties inversement proportionnelles à g et s; la fraction qui passe dans le galvanomètre est

$$\frac{s}{g+s}.$$

Si nous mesurons cette fraction, pour connaître le courant total, il suffit de multiplier le courant I_g passant dans le galvanomètre par le rapport inverse :

$$I_t = I_g \frac{g+s}{s} = I_g m, \qquad (31)$$

le rapport $\frac{g+s}{s}$, que l'on représente généra-

lement par m, est ce que l'on nomme le *pouvoir multiplicateur* du shunt.

D'une façon générale, pour réduire la sensibilité d'un galvanomètre à $\frac{1}{m}$ de sa valeur, il faut le shunter par une résistance

$$s = \frac{g}{m-1}. \tag{32}$$

L'introduction du shunt réduit la résistance du circuit ; la loi des courants dérivés nous donne pour la valeur de la résistance du galvanomètre shunté :

$$g' = \frac{gs}{g+s} = \frac{g}{m}; \tag{33}$$

s'il est nécessaire de conserver au circuit une résistance constante, il faut ajouter une *résistance de compensation* g_1

$$g_1 = g - g' = g\frac{m-1}{m}. \tag{34}$$

La disposition dont nous venons de parler, qui consiste à introduire entre les bornes du galvanomètre une boîte de résistance quelconque, est très suffisante lorsqu'il s'agit de réduire seulement la sensibilité du galvanomètre dans un rapport inconnu ; au contraire, lorsqu'il est nécessaire de connaître exactement m, elle offre les inconvénients suivants: les boîtes de résistances ordinaires ont généralement des bobines de valeurs croissantes, 1, 2, 5, 10, etc., et donnent dans la plupart des cas pour m des valeurs fractionnaires gênantes pour les calculs rapides ; d'autre part, les bobines de galvanomètre sont presque toujours enroulées en fil de cuivre dont le coefficient de variation est environ 0,4 pour 100 par degré ; au contraire, les boîtes de résistances sont généralement enroulées avec des alliages à coefficient aussi faible que possible, 0,04 pour 100 et même moins, de telle sorte que les variations de température affectent inégalement le galvanomètre et le shunt ; il faut donc connaître à chaque instant les températures de ces deux instruments pour faire les corrections nécessaires.

Pour remédier à ces inconvénients, les galvanomètres sensibles sont très souvent accompagnés d'un shunt réglé spécialement dont les pouvoirs multiplicateurs sont des multiples de 10 ou des coefficients simples : 2, 5, 20, etc. Les shunts les plus employés sont :

$$m = 1000 \qquad s = \frac{1}{999}g$$
$$= 100 \qquad = \frac{1}{99}g$$
$$= 10 \qquad = \frac{1}{9}g$$

Les figures 19 et 20 représentent l'ensemble et le schéma d'une des formes les plus classiques de shunts ; les trois bobines ont chacune une de leurs extrémités reliée à une des bornes et l'autre à l'un des secteurs extérieurs ; quand on vient à mettre une fiche entre le bloc central et l'un des secteurs, la résistance correspondante se trouve intercalée entre les

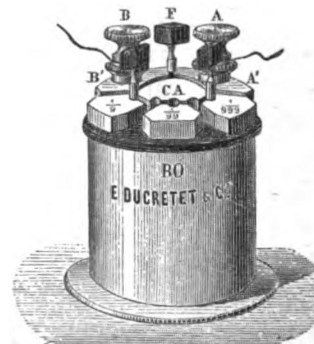


Fig. 19. — Shunt.

deux bornes, puisque le bloc central se trouve directement relié à la seconde borne. Les bornes sont munies de contre-écrous pour pouvoir serrer chacun deux fils : d'une part, le fil du galvanomètre, d'autre part, celui du circuit ; enfin une fiche permet de mettre le galvanomètre en court-circuit. Il est nécessaire d'avoir toujours deux fiches : l'une est placée dans le trou correspondant au pouvoir multiplicateur convenable ; l'autre sert à mettre en court-circuit lorsqu'on craint que le courant atteigne une valeur dangereuse pour le galvanomètre.

Les blocs de laiton ou *plots* du shunt portent soit l'indication de la fraction de résistance qu'ils représentent,

$$\frac{1}{9}, \frac{1}{99}, \frac{1}{999},$$

soit la valeur du pouvoir multiplicateur correspondant

10, 100, 1000,

ces deux modes d'indication ne prêtent pas à confusion ; le plus employé est le premier.

Pour les galvanomètres moins sensibles ou de faible résistance, les valeurs du shunt employés sont de préférence :

$$s = \frac{1}{1}g, \quad \frac{1}{9}g, \quad \frac{1}{99}g,$$

$$m = 2, \quad 10, \quad 100.$$

Le shunt $m = 2$ a surtout sa raison d'être avec les galvanomètres à cadre mobile; ceux-ci en effet, ne sont apériodiques qu'à la condition que le circuit intercalé entre leurs bornes soit assez peu résistant, de telle sorte que si l'on s'en sert sur une grande résistance, il faut les shunter pour les amortir et d'autre part les shunter assez peu pour conserver leur sensibilité.

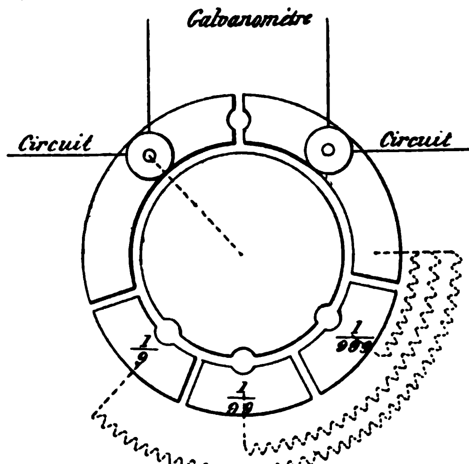


Fig 20. — Schéma d'un shunt.

Les shunts réglés pour un galvanomètre doivent être enroulés avec du fil de même nature que celui du galvanomètre et, chose très importante quoique souvent négligée, ils doivent être placés aussi près que possible de celui-ci. Dans la plupart des installations, on place le shunt sur la table à la portée de la main, alors que le galvanomètre se trouve à 1 mètre environ. Cette disposition permet, dans bien des cas, surtout en hiver avec le chauffage artificiel, d'avoir entre le shunt et le galvanomètre des différences de températures de *2, 3 et 4 degrés*; les erreurs commises dans ce cas dépassent facilement 1 pour 100, il faut en tenir compte dans les expériences précises ; les shunts peuvent d'ailleurs être rarement réglés à moins de 0,2 ou 0,3 pour 100 près, il est donc indispensable de mesurer les résistances des shunts et du galvanomètre dans les conditions de leur emploi et de faire les corrections nécessaires.

Quelquefois les boîtes de shunts sont munies des résistances de compensation correspondantes, de telle sorte que par un mouvement de fiche très simple, on shunt le galvanomètre et on rétablit la résistance totale du circuit à sa valeur primitive. La figure 21 représente une disposition adoptée dans ce cas. Les shunts sont en s_1, s_2, s_3, les résistances de compensation en g_1, g_2, g_3 et g_4. Une fiche introduite en d, place le galvanomètre seul dans le circuit; avec deux fiches en a et a', le galvanomètre est shunté par s, et la résistance de compensation est g_1 etc. ; enfin, une seule fiche en e remplace le galvanomètre, mis en court circuit, par les résistances $g_1 + g_2 + g_3 + g_4$.

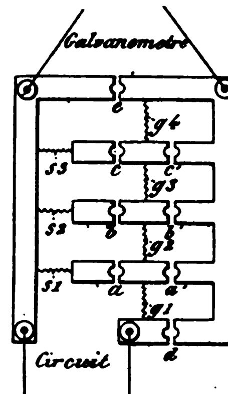


Fig. 21. — Shunt avec résistances de compensation

Une disposition nouvelle des boîtes de shunts, employée d'abord en France pour les appareils de mesures d'isolements, a été généralisée par Ayrton, qui l'a étendue à tous les galvanomètres ; elle consiste à faire usage d'une série de résistances appropriées comme

grandeur seulement au galvanomètre employé, ces résistances étant divisées suivant des rapports égaux aux pouvoirs multiplicateurs cherchés.

Soit par exemple (fig. 22) un galvanomètre de résistance g relié à une série de résistances a, b, c. Laissons le galvanomètre relié constamment en 4 et 5. La fiche placée en 1 nous donne un pouvoir multiplicateur

$$m_1 = \frac{a+b+c+g}{a+b+c},$$

de même en 2 et 3

$$m_2 = \frac{a+b+c+g}{a+b}$$

$$m_3 = \frac{a+b+c+g}{a}.$$

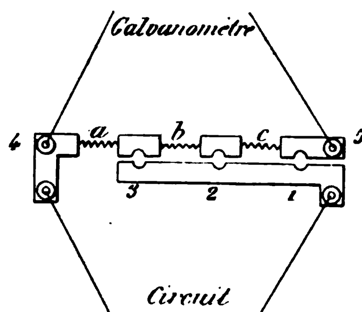


Fig. 22.

La sensibilité *relative* de deux valeurs du shunt, par exemple

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a}{a+b+c},$$

est indépendante de la résistance du galvanomètre ; il suffit donc de graduer celui-ci avec une valeur quelconque de m pour connaître la sensibilité avec un autre pouvoir multiplicateur. Il suffit de faire a, $a+b$, $a+b+c$, croissant suivant des rapports simples, par exemple 1, 10, 100 pour constituer un shunt susceptible d'être appliqué à *tous les galvanomètres indistinctement*, de là le nom de *shunt universel*.

Néanmoins, nous le répétons, il est nécessaire que la résistance du galvanomètre et celle du shunt soient de grandeur comparable pour éviter de réduire trop la sensibilité du galvanomètre, ou pour le cas échéant lui conserver un amortissement convenable.

Le shunt universel peut être construit en fil à faible coefficient de température, de telle sorte que le coefficient total de l'ensemble $a+b+c+g$, se trouve diminué, ce qui réduit les erreurs dues aux variations de température ; enfin si les températures du shunt et du galvanomètre sont inégales mais *constantes*, la sensibilité ne change pas et les rapports des shunts sont toujours constants, ce qui n'arrive pas avec les modèles ordinaires.

Un autre grand avantage de cette disposition lorsqu'on fait usage des galvanomètres à cadre mobile pour les mesures balistiques, c'est que la résistance totale du circuit galvanométrique ne changeant pas, l'amortissement reste constant pour toutes les valeurs de m.

Cette disposition est évidemment appelée à se répandre de plus en plus ; elle offre sur l'ancienne de multiples avantages, comme nous venons de le voir ; il suffit de 2 ou 3 de ces shunts de résistances totales différentes, pour shunter indifféremment tous les galvanomètres dont on dispose.

RÉGLAGE DES GALVANOMÈTRES

Nous parlerons des conditions générales concernant la mise en expérience des galvanomètres et électromètres, telles que le support à employer, la hauteur à laquelle doivent être l'appareil et l'échelle pour les observations au miroir, l'éclairage et enfin les moyens à employer pour éviter l'effet toujours nuisible des trépidations du sol. Supposons ici, le galvanomètre mis en place et voyons les précautions à prendre pour l'utiliser le mieux possible.

Réglage d'un galvanomètre à cadre mobile.— Ce réglage est très simple, nous allons l'examiner tout d'abord.

L'influence du calage est presque nulle dans les appareils de ce genre, aussi les galvanomètres couramment employés dans l'industrie sont-ils dépourvus de vis calantes; il suf-

fit de les placer sur une surface à peu près horizontale, sans s'astreindre à un nivellement rigoureux.

Cependant, dans les modèles très sensibles, c'est par l'affaiblissement du couple W que l'on obtient la sensibilité nécessaire ; le défaut de coïncidence qui existe toujours entre les centres de gravité du cadre mobile et l'axe de rotation, peut alors, si celui-ci n'est pas vertical, produire un couple de même ordre de grandeur que W, et modifier ainsi la sensibilité. Ce que l'on doit chercher dans ce cas, c'est de rendre verticaux *les fils de suspension* qui forment le prolongement de l'axe de rotation du cadre ; le nivellement de la base n'est évidemment pas une solution parfaite car l'axe de supension n'est pas toujours rigoureusement perpendiculaire à cette base, mais il a l'avantage de permettre de replacer le galvanomètre dans des conditions toujours identiques, et par suite de conserver une sensibilité constante.

L'orientation n'a aucune influence sensible sur les galvanomètres à cadre mobile, leur champ magnétique étant toujours très intense par rapport à celui de la terre.

Les fils ou ressorts qui suspendent le cadre mobile et lui amènent le courant, sont généralement placés dans le prolongement l'un de l'autre; leur tension est donc inégale, celui du haut ayant à supporter en plus le poids du cadre. Le réglage consiste à agir sur le rappel supérieur de façon à amener le cadre mobile à égale distance du noyau de fer, en haut et en bas, ou dans les galvanomètres de la forme de la figure 14, où il n'y a pas de noyau de fer, il suffit que le cadre mobile plonge complètement dans le champ magnétique. La tension du fil ou du ressort inférieur a simplement pour but de fixer la direction de l'axe de rotation, elle doit être suffisante pour redresser parfaitement le fil ou pour donner une certaine rigidité au ressort. La tension varie évidemment avec le diamètre du fil, elle doit être plus grande pour un gros fil que pour un fil fin, mais il ne faut pas la faire trop grande de façon à éviter la rupture ou l'allongement permanent du fil.

Dans la plupart des cas, les galvanomètres à cadre mobile ont une sensibilité fixée invariablement par construction ; pour la modifier, il faut changer le fil de suspension ; on peut bien, il est vrai, la diminuer en *armant* l'aimant, on crée ainsi un véritable *shunt magnétique*, mais il est préférable de shunter au moyen d'une résistance qui ne modifie pas l'amortissement.

Dans quelques modèles, la suspension est bifilaire ; on peut alors modifier la sensibilité en faisant varier l'écartement des fils ou leur tension.

Un point d'une importance capitale dans le réglage du galvanomètre est d'assurer la liberté du mouvement, les forces en jeu sont si faibles, qu'il suffit d'un rien ; une limaille, un brin de fil de cocon, pour troubler le mouvement. Dans les galvanomètres à cadre mobile sans amortissement à circuit ouvert, il est facile de s'assurer que cette condition est remplie en faisant osciller le cadre ; lorsqu'au contraire il y a toujours amortissement, même à circuit ouvert, il faut observer parfois très attentivement les oscillations pour reconnaître l'action d'un frottement. Pour remédier à ce défaut, il faut évidemment chercher le point où se produit le frottement et enlever l'objet qui en est la cause ; si le fait est dû au décentrage d'une pièce quelconque ce qui peut toujours se produire même dans les appareils les mieux construits, on y remédie en ramenant les choses à leur place ; il est impossible de donner sur ce sujet des explications précises, les phénomènes perturbateurs revêtant les formes les plus variées.

Réglage des électrodynamomètres. — Le réglage de ces instruments est le même que celui des galvanomètres à cadre mobile, sauf l'orientation qui n'est pas indifférente.

On doit toujours avoir soin de placer la bobine fixe des électrodynamomètres du genre Weber de telle sorte que les spires soient dans

le plan du méridien ; les appareils du genre Bellati doivent avoir au repos leur faisceau de fer doux *perpendiculaire* au plan du méridien, par conséquent, le plan des spires doit être à 45° de celui-ci.

Ces instruments sont très sensibles aux influences magnétiques extérieures ; aussi il est bon de les éloigner des masses de fer fixes susceptibles d'une aimantation temporaire comme les dynamos, par exemple, et d'éviter tout déplacement de masses de fer dans le voisinage.

Réglage des galvanomètres à aimant mobile. Le calage a simplement pour but de placer l'aimant mobile au centre de la bobine. Les niveaux qui existent sur un certain nombre d'appareils sont parfaitement inutiles ; *si bien réglés qu'ils soient*, en effet, il suffit d'une déformation presque imperceptible de l'équipage du galvanomètre pour que les aimants soient déplacés. Le véritable calage consiste donc à mettre ceux-ci bien au centre des bobines ; cette opération très facile dans les galvanomètres comme celui de la figure 6, où les bobines peuvent être démontées aisément, est assez délicate dans les modèles non démontables où l'équipage n'est pas visible dans tous les sens.

Une série de bobines étant enlevée, on place l'équipage attaché par un fil de cocon de longueur convenable et on règle sa hauteur en relevant plus ou moins la potence qui le porte jusqu'à ce que les aimants soient bien au niveau du centre des bobines ; puis agissant sur les vis calantes placées parallèlement au plan de celles-ci, on amène l'axe de rotation de l'équipage à couper les axes des bobines ; enfin à l'aide de la dernière vis, on rend l'équipage parallèle au plan des bobines ; il ne reste plus qu'à remettre tout en place et à s'assurer que les contacts sont bons et les connexions bien rétablies. Il est bon pour faciliter ce réglage, de diriger fortement l'équipage dans la position définitive en approchant au plus près l'aimant directeur.

Il faut s'assurer en procédant au remontage, d'abord que les bobines sont bien remises à leur place et que les repères, s'il y en a, sont bien en face les unes des autres. L'équipage qui a été attaché au moyen d'un fil de cocon *simple*, par le moyen déjà indiqué ne doit pas porter de bout de fil saillant à l'attache ; il suffit en effet d'un filament très ténu et très court pour frotter sur les bobines et apporter des perturbations d'autant plus graves qu'il est difficile d'en trouver la cause. Il faut éviter aussi lorqu'on démonte et remonte un galvanomètre, de frotter les bobines, car celles-ci, généralement enduites de gomme laque, s'électrisent facilement et gardent pendant longtemps cette électrisation ; l'équipage se trouve alors dans un champ électrique dont la grandeur et la direction varient à chaque instant ; il est presque impossible dans ces conditions de régler la sensibilité du galvanomètre.

On doit aussi veiller autant que possible à ce que le fil de cocon n'ait pas de torsion au moment de son emploi, autrement la force directrice de l'équipage est la résultante des actions magnétiques de la terre et de l'aimant directeur ainsi que de cette torsion; or un fil de cocon présente à la torsion une très grande viscosité, il ne prend que lentement sa position d'équilibre et les variations hygroscopiques l'affectent énormément, de telle sorte qu'on a alors un système dont le zéro se déplace constamment.

Les galvanomètres à aimant mobile sont généralement soumis à l'action combinée de la terre et d'un aimant placé sur l'appareil et appelé aimant directeur ; on peut, par une manœuvre convenable de celui-ci, amener l'équipage a prendre une oscillation quelconque, mais le choix n'est pas indifférent.

Lorqu'on a des observations longues à faire, nécessitant une grande sensibilité, il faut avoir un zéro assez fixe ; or le champ magnétique terrestre varie à la fois en grandeur et en direction ; la variation journalière en grandeur $\frac{d\mathcal{H}}{\mathcal{H}}$ atteint au plus 1 pour 100 et la variation angulaire ne dépasse pas 1°

Lorsqu'un équipage soumis à l'action d'un aimant directeur est orienté à 90° du méridien magnétique, la variation $\frac{d\mathcal{H}}{\mathcal{H}}$ modifie l'*orientation* de l'équipage, c'est à dire fait varier le zéro ; cette variation est nulle au contraire, lorsque l'équipage est parallèle au méridien magnétique ; dans ce cas, c'est la variation seule qui produit les déplacements de zéro, mais alors son action est très grande, une très petite variation $d\alpha$ peut amener le renversement complet de l'équipage ; *il faut donc orienter autant que possible les galvanomètres à aimant mobile de telle sorte que l'équipage se trouve amené à 90° de la position qu'il prend lorsqu'il est soumis seulement à l'action de la terre* ; on évite ainsi les déplacements de zéro qui sont si gênants pour les mesures.

Les équipages astatiques doivent avoir leur *résultante* orientée de même, quelle que soit la position des barreaux ; autrement dit, ils doivent être placés à 90° de la direction qu'ils prennent sous l'action du champ terrestre seul.

Il n'est pas toujours possible de s'astreindre à prendre cette orientation, soit que l'espace manque, que l'éclairage soit défectueux, ou pour toute autre cause ; c'est pourquoi il est très important d'employer des équipages aussi astatiques que possible, c'est à dire ayant, toutes choses égales d'ailleurs, la période d'oscillation la plus longue possible dans le champ terrestre.

Le réglage de la sensibilité est certainement l'opération qui embarasse le plus les personnes qui emploient pour la première fois les galvanomètres dont nous parlons ; c'est cependant une manipulation des plus simples, quand on procède méthodiquement comme nous allons l'indiquer.

Soit O $\mathcal{H}$, (fig. 23), la direction du champ terrestre, O E la direction dans laquelle doit se trouver l'équipage, c'est à dire celle de la résultante des actions de la terre et de l'aimant directeur. Prenons O A proportionnel à la valeur $\mathcal{H}$ du champ terrestre, O D proportionnel à l'action de l'aimant directeur sur l'équipage, le parallélogramme obtenu en faisant passer par D une parallèle à O A et par A une parrallèle à O D, nous donne la grandeur O 1 et la direction de la résultante. Nous pouvons réduire cette construction au tracé d'une ligne passant par A, ayant une longueur proportionnelle à l'action de l'aimant pour chaque position de celui-ci, et dirigée suivant son orientation réelle ; si par exemple nous donnons à l'aimant directeur les valeurs

Fig. 23.

et les positions représentées par A1, A2, A3, nous voyons que la résultante change seulement de grandeur ; de même pour deux valeurs égales A3 et A4, nous obtenons la même direction O E de la résultante, mais avec deux grandeurs différentes de celle-ci. Ce dernier résultat peut être obtenu toutes les fois que l'angle $AEO \leq AOE$; au delà une position symétrique de A5 par rapport à A N, amène la résultante en O 6, c'est à dire renverse sa direction. Pour toutes les directions et les grandeurs telles que $AEO \leq AOE$, on voit que si, sans changer la grandeur de l'action de l'aimant directeur, on rapproche la direction de A O, l'équipage tourne dans le sens de l'aimant jusqu'à la position A N', puis revient lorsque le mouvement continue ; il reprend la direction O E, pour un angle N A 4 = N A 3, c'est à dire pour une position de l'aimant directeur symétrique de la première par rapport à la direction de la normale à la ré-

sultante O E. Remarquons ici que pour obtenir l'orientation voulue, il est indispensable que l'action de l'aimant soit égale ou supérieure à A N.

En faisant un schéma analogue pour le cas où l'on se trouve, on arrive rapidement à régler la sensibilité de son instrument.

Pour faciliter le centrage, nous avons tout à l'heure amené l'aimant directeur aussi près que possible de l'équipage, soit A5 sa direction à ce moment. Si nous voulons augmenter la sensibilité, il faut réduire la résultante O5 nous voyons que le résultat est obtenu en éloignant l'aimant de l'équipage, c'est à dire en l'élevant dans les galvanomètres Thomson et en le faisant tourner en même temps vers A O. Nous pouvons obtenir ainsi successivement les positions A1, A2, A3, A N ; à partir de celle-ci, nous continuons à tourner vers A O, mais il faut *augmenter* l'action de l'aimant, c'est à dire le *rapprocher* de l'équipage. plus on approche de A O, plus la sensibilité augmente, mais aussi plus le réglage devient délicat ; on voit facilement sur la figure 23 qu'à ce moment un très petit déplacement de l'aimant peut renverser complètement la direction de la résultante.

En pratique, il n'est pas besoin de connaître la direction O $\mathcal{H}$ du champ terrestre, il suffit, partant de la position pour laquelle l'équipage est le plus fortement dirigé, d'élever l'aimant directeur en le faisant tourner de façon à maintenir l'équipage dans le plan convenable. Cette manœuvre donne tout d'abord la position *relative* de A. On peut continuer à éloigner l'aimant et à le tourner tant que sa direction *n'est pas perpendiculaire* au plan de l'équipage, que celui-ci soit astatique ou non; à partir de ce moment on doit le rapprocher. Dans ces conditions, le réglage devient en quelque sorte automatique, il suffit de savoir donner des mouvements assez petits pour pousser la sensibilité aussi loin qu'il est possible.

Si malgré les précautions prises, les variations magnétiques extérieures amènent des changements continuels de zéro, il est facile d'y remédier en disposant sur la table à portée de la main, un barreau aimanté de 10 à 20 cm de long et de 1 cm^2 de section environ. Cet aimant permet, en l'approchant ou l'éloignant du galvanomètre, ou en le faisant tourner, de ramener l'équipage au zéro. Un aimant plus gros peut rendre les mêmes services, car on peut toujours trouver une orientation telle que son action sur l'équipage soit nulle.

SENSIBILITÉS ET CONSTANTES.

La déviation α d'un galvanomètre est toujours une fonction du courant I qui le traverse; tout accroissement dI du courant a pour résultat un accroissement $d\alpha$ de la déviation; le rapport

$$S = \frac{d\alpha}{dI}, \qquad (35)$$

est appelé *sensibilité absolue*, il caractérise une des qualités du galvanomètre ; on a toujours intérêt à avoir, toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande sensibilité possible.

Dans les mesures, on a souvent besoin de connaître l'accroissement $d\alpha$ de la déviation correspondant à une variation *relative* de l'intensité, le rapport

$$S' = d\alpha : \frac{dI}{I} = I\frac{d\alpha}{dI} \qquad (36)$$

est appelé *sensibilité relative*, il permet de se rendre compte de la précision des mesures.

Pour les galvanomètres à miroir, les déviations sont proportionnelles aux intensités

$$\alpha = J\,I, \qquad (37)$$

par conséquent la sensibilité S est indépendante de α et de I

$$S = J;$$

elle dépend uniquement du coefficient J ; la sensibilité relative est indépendante de J et de I ; elle croît proportionnellement avec α. Pour les électrodynamomètres, au contraire, les sensibilités croissent avec la grandeur de α et de I, on peut écrire

$$\alpha = J_1\,I^2; \qquad (38)$$

et par suite

$$S = 2\sqrt{J_1 \alpha} = 2 J_1 I,$$
$$S' = 2\alpha = 2 J_1 I^2.$$

Si on veut connaître la sensibilité d'un électrodynamomètre au zéro, il suffit de donner à α la valeur de la plus petite déviation observable pour que le terme de sensibilité prenne dans ce cas une signification aussi précise qu'avec les galvanomètres.

Dans la pratique, la détermination de la sensibilité d'un galvanomètre, s'exprime par l'un des coefficients suivants :

Formule de mérite. — On appelle ainsi la valeur de la résistance qu'il faut introduire dans le circuit d'un galvanomètre pour qu'un élément Daniell imprime au spot une déviation égale à *une* division de l'échelle. Il faut remplacer ici l'angle α par la déviation d correspondante

$$d = 2 D \alpha,$$

dans ces conditions, l'intensité du courant est

$$\frac{1,07}{F_m},$$

et comme $d = 1$ par définition, la sensibilité S étant égale à J, nous avons

$$S = \frac{F_m}{1,07},$$

c'est à dire que la sensibilité est égale à la formule de mérite à un coefficient près. Ce terme toujours appliqué aux galvanomètres sensibles s'exprime en megohms.

Constante des télégraphistes. — C'est la déviation imprimée au galvanomètre par le courant d'un élément Daniell traversant un circuit dont la résistance totale, galvanomètre compris, est égale à un mégohm.

En exprimant la déviation C_t obtenue dans ce cas, par le nombre de divisions comprises entre le zéro et la position déviée, l'intensité du courant pour une seule division est C_t fois moindre et par suite la sensibilité $S = \frac{C_t}{1,07}$; donc la constante des télégraphistes a la même *valeur numérique* que la formule de mérite.

Dans le cas de la constante, on suppose bien entendu que la proportionnalité subsiste jusqu'à la déviation indiquée ; en réalité, on mesure toujours des déviations assez petites pour que cette condition soit remplie et c'est par le calcul qu'on détermine C_t comme nous le verrons plus loin.

Un troisième moyen plus rationnel consiste à indiquer la déviation produite par un courant d'un microampère ; on fait ainsi disparaître le coefficient 1,07 qui est un peu arbitraire, car la f. é. m. d'un élément Daniell varie beaucoup suivant les circonstances. On pourrait aussi donner l'intensité du courant qui produit une déviation d'une division, mais alors on serait conduit à des nombres fractionnaires souvent très petits et, en outre, le coefficient ainsi obtenu serait l'*inverse* de la sensibilité; par suite celle-ci augmenterait quand le chiffre indiqué diminuerait, ce qui ne manquerait pas d'amener quelque confusion. Dans ce cas, la sensibilité est numériquement égale à la constante J.

Si nous nous reportons aux paragraphes précédents, nous voyons que les facteurs entrant dans les cœfficients J J_1 des formules (37) et (38), renferment un certain nombre de termes invariables, déterminés une fois pour toutes par construction : nombre de tours et dimensions des bobines, constantes magnétiques, moment d'inertie. Ces facteurs invariables règlent la valeur de la sensibilité que l'on peut obtenir dans tous les cas possibles; leur détermination absolue étant inutile dans la plupart des cas, nous les réunirons en un seul terme que nous appellerons *coefficient de sensibilité* ; d'autre part le terme renferme le couple directeur ou sa valeur en fonction de T et λ, ainsi que la distance D de l'échelle au miroir lorsqu'il s'agit d'un galvanomètre à réflexion. En appelant B le coefficient de sensibilité, et en remplaçant l'angle α par la division d on a d'une façon générale :

$$d = \left[B D \frac{T^2}{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} \right] I, \qquad (39)$$

$$d = \left[B D \frac{T^2}{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}} \right] I^2. \qquad (40)$$

Les facteurs D, T et λ étant déterminés par l'observation, il ne reste plus que le coefficient B à connaître ; nous avons déjà dit que sa détermination en valeur absolue était très délicate et rarement employée. Plus généralement on le déduit de la valeur de J qui n'est autre chose que le terme entre crochets, mais il faut dans ce cas choisir des unités convenables. Nous prendrons pour I le microampère pour T la seconde et pour D la valeur 1000 qui correspond à l'usage courant en France de prendre pour unité de déviation le millimètre sur l'échelle placée à 1 mètre du miroir. Dans ces conditions le coefficient de sensibilité a une signification bien précise : c'est *la déviation du galvanomètre produite par un courant de microampère, lorsque la distance de l'échelle au miroir est égale à 1000 divisions de l'échelle, la durée d'oscillation étant 1 seconde et l'amortissement nul.*

Ainsi défini, le coefficient B peut être calculé au moyen de J

$$B = 1\,000 \frac{J}{D} \frac{1 + \frac{\lambda^2}{\pi^2}}{T^2} \qquad (41)$$

en prenant, bien entendu J rapporté au microampère et D exprimé en divisions de l'échelle.

Le coefficient de sensibilité permet de comparer entre eux des galvanomètres différents et de savoir celui qui, à égalité d'oscillation, donnera la plus grande déviation ; mais comme la sensibilité varie avec le nombre de tours du fil sur la bobine, on peut la modifier en changeant l'enroulement ; la comparaison sera plus parfaite si nous ramenons la sensibilité à ce qu'elle serait si les galvanomètres avaient tous la même résistance.

On sait que, abstraction faite de l'isolant, le nombre de tours de fil que l'on peut enrouler sur une bobine de dimensions déterminées est inversement proportionnel au carré du diamètre, tandis que la résistance croît en raison inverse de la quatrième puissance du même diamètre ; le rapport du nombre de tours de fils différents que l'on peut mettre sur la même bobine est donc proportionnel à la racine carrée de la résistance. Pour ramener à un galvanomètre type ayant 1 ohm de résistance, il faut diviser B par $\sqrt{g}$, on obtient un nouveau coefficient caractéristique du type de galvanomètre essayé ; nous appellerons ce coefficient B_1 la *sensibilité spécifique*

$$B_1 = \frac{B}{\sqrt{g}}. \qquad (42)$$

En réalité, ce calcul est surtout avantageux pour les galvanomètres à gros fil, car l'épaisseur relative de l'isolant est beaucoup plus faible pour ceux-ci que pour les fils fins, de telle sorte que le *volume du cuivre* employé est plus grand à *volume égal de bobine*.

Dans une étude très complète des galvanomètres, MM. Ayrton, Mather et Sumpner, ont pris comme valeur de la *sensibilité spécifique*, la déviation produite par un courant de 1 microampère sur un galvanomètre de 1 ohm de résistance ayant une durée d'oscillation de 5 secondes, *sans tenir compte de l'amortissement*, la distance de l'échelle au miroir étant prise, comme on le fait fréquemment en Angleterre, égale à 2 000 divisions de l'échelle. Ainsi définie, pour les galvanomètres à amortissement faible, la sensibilité spécifique est 50 fois plus grande que B_1. Pour les galvanomètres très amortis elle peut conduire à des résultats absolument erronés si l'on part d'une mesure faite à une durée d'oscillation très différente de 5 secondes ; néanmoins, le *coefficient d'Ayrton* étant très employé, il est utile d'en connaître la signification.

Le coefficient d'amortissement *b* est également important à noter pour les galvanomètres périodiques, puisqu'il permet de calculer λ pour toutes les valeurs de T. Avec les galvanomètres à cadre mobile, la résistance critique d'amortissement déterminée par l'*induction seule* est proportionnelle à T,

$$R_c = A\,T. \qquad (43)$$

Le tableau I renferme, pour un certain nombre de galvanomètres de provenances très diverses,

la résistance g, les coefficients B, b, B_1 et A.

A titre de renseignement et de comparaison, nous avons joint à ce tableau les coefficients analogues relevés sur deux électrodynamomètres à miroir. Ces chiffres montrent clairement quelle est actuellement l'infériorité de nos moyens de mesure des courants alternatifs.

TABLEAU I

	g	B	b	B_1	A	
Electrodynamomètre Weber.	18,7	171×10^{-10}	négligeable	$39{,}5 \times 10^{-10}$		Fig (17).
» Bellati.	388	10,0019	0,02	0,000096		Fig (18).
Galvanomètre Thomson, équipage balistique	14 210	4,23	0,006	0,0035		Equipage modèle de la fig. (15).
» Nobili	234	2,65	négligeable	0,173		Fig (4).
» Dubois Reymond	8 149	19,1	0,06	0,211		
» Wiedemann-d'Arsonval...	29 220	36,4	0,67	0,212		Aimant mobile en fer à cheval, miroir séparé.
» Siemens à 4 bobines........	16 730	46,7	0,344	0,36		Aimants mobiles en forme de cloches, fig (10) III.
» » »	13 200	68	0,62	0,59		Aimants mobile en forme de cloches, fig (10) III.
» Thomson ordinaire à 4 bobines..........	6 800	58	0,14	0,70		Equipage, fig (7).
» Thomson équipage spécial..	114	43,4	0,42	4,06		Equipage, fig (10) II.
» Wiedemann ..	101	26,4	1,40	2,64		Aimant mobile en forme de disque, poli sur une face pour servir de miroir.
» Weiss	18,5	110	0,50	25,5		Galvanomètre très sensible délicat, l'équipage très petit est composé de 2 aimants *verticaux*, parallèles à l'axe de rotation, aussi égaux que possible.
» à cadre mobile, modèle balistique........	483	1,84		0,083	706	Fig (16).
» à cadre mobile, modèle ordinaire	222	14,7		0,98	1 108	Fig (12).

MESURE DES CONSTANTES

Lorsqu'on veut employer un galvanomètre pour des mesures d'intensité, on se contente de la détermination de la constante J et de la résistance g du galvanomètre ; mais lorsqu'on a besoin de déplacer cet appareil et de le replacer ensuite dans des conditions identiques, lorsqu'on doit amener sa sensibilité à une valeur déterminée, il est nécessaire en outre de mesurer la durée d'oscillation T, le décrément logarithmique λ ; pour les galvanomètres à cadre mobile, on doit connaître la durée d'oscillation à circuit ouvert T_0 et la résistance critique R_c. Enfin il faut également mesurer la distance D de l'échelle au miroir.

On peut si cela est nécessaire, tirer de ces mesures les valeurs absolues de $\mathfrak{M}$, G et Φ,

en appliquant les formules des paragraphes précédents, pourvu que les dimensions géométriques soient bien connues ; les valeurs ainsi obtenues servent quelquefois à trouver le point défectueux d'un galvanomètre et permettent d'y remédier.

La résistance g se mesure comme une résistance ordinaire, en prenant les précautions nécessaires pour le cuivre.

La mesure de D est une simple mesure linéaire sur laquelle il n'y a pas à insister, faisons remarquer cependant qu'il est indispensable de mesurer cette distance sur la perpendiculaire abaissée du miroir sur l'échelle.

Les mesures de T et λ se font comme nous l'avons indiqué dans un article antérieur.

Constantes galvanométriques. — Nous avons vu qu'on appelait suivant les cas : constante des télégraphistes, formule de mérite, ou simplement constante d'un galvanomètre, une quantité égale à la déviation produite sur le galvanomètre par un courant d'intensité déterminée. Dans ce qui suit nous considérons toujours la *constante galvanométrique* J comme la déviation produite par un courant de 1 microampère, exprimée par le nombre des divisions de l'échelle correspondant et nous mesurerons également la distance D en fonction de cette même unité.

En pratique on ne mesure pas directement la déviation produite par un courant de 1 microampère; cette quantité est trop grande ou trop petite, rarement elle est de grandeur convenable; on emploie un moyen détourné.

Le galvanomètre réglé est relié à un shunt S (fig. 24) et à une résistance R de 100000 ohms à 1 mégohm, un élément Daniell, ou une pile quelleconque de f. é. m. constante, peut être intercalé dans le circuit au moyen d'une clef d'inversion C ou d'un inverseur quelconque.

Le courant imprime au galvanomètre une déviation d_1, puis après renversement du courant, une déviation d_2 de direction contraire, on prend la moyenne

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}; \qquad (44)$$

c'est cette moyenne qui entre dans les calculs. S'il y a une trop grande différence entre d_1 et d_2, cela peut provenir d'un mauvais réglage du galvanomètre dont le mobile n'est pas dans le plan de symétrie ; il faut alors corriger ce défaut. La différence peut aussi provenir du *déplacement du zéro* dû à une action extérieure; pour éliminer ce déplacement, il faut faire une troisième mesure d_3 dans le sens de la première, les trois mesures prises autant que possible à des intervalles de temps égaux, la valeur de d est alors

$$d = \frac{d_1 + 2\,d_2 + d_3}{4}. \qquad (45)$$

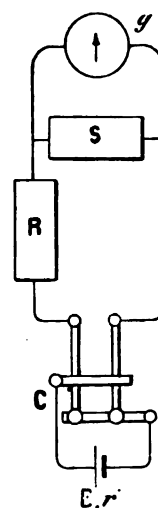


Fig. 24.

La grandeur de la résistance R à employer dépend évidemment de la sensibilité du galvanomètre essayé et du shunt S dont on dispose ; on ne doit pas perdre de vue que plus cette résistance R est grande, plus facilement on élimine les erreurs dues à la résistance intérieure r de l'élément employé et à la résistance g du galvanomètre, résistances que l'on ne connaît pas toujours exactement au moment de la mesure.

La résistance totale du circuit est

$$R + r + \frac{G\,S}{G + S},$$

le pouvoir multiplicateur du shunt

$$m = \frac{G + S}{S},$$

l'intensité du courant dans le galvanomètre a donc pour valeur

$$\frac{E}{\left(R + r + \frac{GS}{G+S}\right)\frac{G+S}{S}}.$$

La déviation produite est d, un courant de 1 microampère produira donc une déviation J égale à la constante galvanométrique

$$J = \frac{\left(R + r + \frac{GS}{G+S}\right)\frac{G+S}{S}}{10^6 E} d. \qquad (46)$$

Lorsque r et $\frac{G\delta}{G+\delta}$ sont petits et négligeables devant R, on peut, en appelant m le pouvoir multiplicateur, écrire simplement

$$J = \frac{R m d}{10^6 E}, \qquad (47)$$

En employant un élément Daniell et en supprimant le facteur E dans (46) et (47), nous obtiendrons directement la formule de mérite ou la constante des télégraphistes.

Résistance critique R_c des galvanomètres à cadre mobile. — Dans ces appareils il est bon de remplacer la valeur de b par celle de la résistance avec laquelle l'amortissement critique est obtenu, ainsi que la durée de l'oscillation T_∞ et s'il y a lieu le coefficient d'amortissement b_∞ à circuit ouvert; dans un grand nombre de galvanomètres, b_∞ est négligeable et par conséquent $T_\infty = T_0$; si b_∞ n'est pas nul, on le détermine comme précédemment.

La mesure de R_c a une très grande importance pour les mesures balistiques et doit dans ce cas être faite avec grand soin. On peut employer trois méthodes différentes : la première et la plus simple consiste à faire dévier le galvanomètre fermé sur une boîte de résistance capable de varier dans les limites présumées, on observe le retour au zéro du spot ; si la résistance est trop grande, le mobile fait quelques oscillations rapidement décroissantes, en diminuant alors la résistance de la boite, on voit le spot dépasser de moins en moins le zéro puis, pour une certaine valeur, le galvanomètre dévié revient au zéro sans le dépasser, c'est cette valeur R_1 qu'il faut noter, R_c est la somme $R_1 + g$.

Il faut toujours noter R_1 au moment où le galvanomètre devient apériodique, car évidemment si on diminue la résistance, le même phénomène se produira de mieux en mieux.

Cette méthode directe donne des résultats très satisfaisants pour les galvanomètres à oscillations rapides, c'est à dire inférieures à une seconde; on peut dans ce cas obtenir R_c à 1 pour 100 près.

Quand l'oscillation devient longue, le retour au zéro s'effectue très lentement, de telle sorte qu'il est difficile d'observer le très petit mouvement de retour qui indique nettement que l'apériodicité critique n'est pas atteinte, la résistance critique observée est *toujours trop grande.*

Une méthode indirecte peut être employée dans ce cas et donne des résultats très concordants entre eux; elle consiste à fermer le circuit sur une résistance totale R assez grande pour que la mesure de T_R et λ_R se fasse aussi exactement que possible par les moyens déjà indiqués ; il faut chercher à avoir :

$$\lambda_R = \frac{T_R}{50} \text{ à } \frac{T_R}{100},$$

pour qu'en une minute environ, l'amplitude soit réduite à la moitié ou au quart. Cependant dans tous les cas où la mesure directe de l'oscillation T_∞ peut être effectuée exactement, on peut prendre des valeurs de λ_R beaucoup plus élevées.

De l'observation de λ_R et T_R, on déduit

$$b_R = \frac{\lambda_R}{T_R},$$

cette valeur b_R introduite les équations (15) ou (16) selon que b_∞ est ou n'est pas négligeable, donne R_c.

Enfin une troisième méthode plus longue et plus dispendieuse peut servir à contrôler les deux précédentes, elle consiste à décharger dans le galvanomètre shunté par des résistances plus grandes et plus petites que $(R_c - g)$, une quantité d'électricité *toujours la même*, On sait que les élongations produites par la même quantité sont dans les rapports de 1 à e

selon que l'amortissement est nul, ou a la valeur critique ; il suffit donc de connaître l'élongation ε_∞ obtenue quand le shunt était infini, $m = 1$, et au besoin de corriger cette valeur de la petite erreur dûe au faible amortissement λ_∞, puis de construire la courbe, en fonction de R, des valeurs $m\varepsilon$ que prendraient les élongations si, à amortissement égal, le pouvoir multiplicateur du shunt était 1 ; on cherche sur cette courbe un point tel que

$$m\varepsilon = \frac{\varepsilon_\infty\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)}{e}.$$

La valeur correspondante de R est celle qu'il faut ajouter au galvanomètre pour obtenir l'amortissement critique. La précision de cette méthode est égale à celle de la précédente.

Exemple d'essai d'un galvanomètre à cadre mobile. — Le mobile essayé est à longue durée d'oscillation pour les expériences balistiques.

Résistance g du cadre mobile ...	483,5 ohms à 23°
Distance D de l'échelle au miroir.	1 253 divisions (mm)

Mesure de la constante galvanométrique :

R = 1 megohm	Déviation gauche	110
S = 10 000 ohms	» droite	389
$m = 1{,}0483$	Zéros	250
$\frac{gS}{g+S} = 461{,}3$	Déviation moyenne d	139,5

La résistance S a été prise égale à 1 000 ohms pour que le galvanomètre ne soit pas trop amorti ; il a fallu, par suite, prendre R très élevé.

Etalon de f. é. m. employé : 1 élément Gouy, E = 1v39, la résistance intérieure de cet élément a été trouvée inférieure à 40 ohms.

Devant R = 1 meghom, on peut négliger $r + \frac{gS}{g+S}$ dont la somme, plus petite que 500 ohms n'affecte le résultat que d'une erreur de 0,05 pour 100 ; la constante galvanométrique de l'instrument est alors

$$J = \frac{R\,m\,d}{10^6\,E} = \frac{1 \times 10^6 \times 1{,}0483 \times 139.5}{10^6 \times 1.39} = 105{,}2.$$

Un courant de 1 microampère fait dévier ce galvanomètre de 105,2 divisions, dans les conditions de l'expérience.

A circuit ouvert, ce galvanomètre présente un certain amortissement et la durée d'oscillation étant longue, il est impossible de déterminer directement à *1000 ohms près*, la résistance critique R_c, il faut donc avoir recours aux deux autres procédés indiqués ci-dessus ; dans ce but, des mesures très exactes de $T_\infty\ \lambda_\infty$ ont été effectuées, puis on a shunté le galvanomètre avec un shunt S et on a obtenu T_R et λ_R; enfin en faisant varier le shunt S, on a déchargé aux bornes du galvanomètre un condensateur chargé à une différence de potentiel constante, pendant un

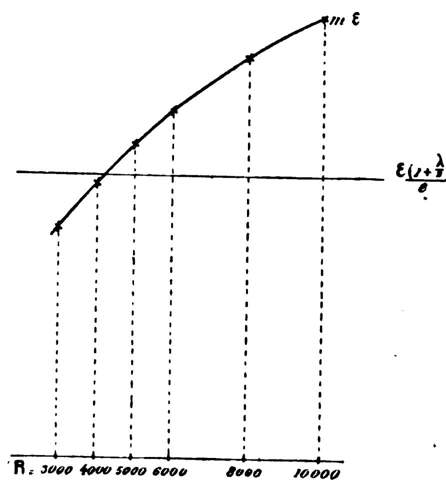


Fig. 25.

temps uniforme pour toutes les expériences.

Le produit $m\varepsilon$ donne, pour chaque valeur du shunt S, l'impulsion qui aurait été produite sur le galvanomètre par la quantité q, si, le shunt étant supprimé, l'amortissement était resté le même. On voit également sur le tableau II, que nous avons mesuré ε avec un shunt infini ; en appliquant à l'élongation mesurée dans ce cas, la petite correction nécessitée par l'amortissement, nous trouvons

$$\varepsilon\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right) = 201\,(1 + 0{,}019) = 204{,}8;$$

ce chiffre est celui de l'élongation que nous aurions obtenu si l'amortissement avait été nul pour S = ∞. D'autre part, la mesure de l'oscillation T_∞ nous a donné en moyenne 6s71 ;

nous pouvons considérer cette valeur comme égale à T_0. De ces valeurs nous tirons

$$b_\infty = \frac{0,0383}{6,71} = 0,0057,$$

$$b_c = \frac{3,1416}{6,71} = 0,4681.$$

Avec le shunt $S = 10\,000^\omega$, nous trouvons $\lambda_R = 1,6277$ et $T_R = 7^s67$; mais d'après l'équation (10) (t. VII, p. 400) nous devons avoir

$$T = 6,71 \sqrt{1 + \frac{1,6277^2}{3,14^2}} = 7^s\,54.$$

Comme la mesure de T_R a été faite par l'observation des élongations et qu'à ce moment la vitesse du spot est pratiquement nulle, pendant un temps assez long, nous savons que la mesure directe de T est trop forte; nous prendrons donc de préférence la valeur calculée comme plus probable ; elle nous donne

$$b_R = \frac{1,6277}{7,54} = 0,2158,$$

nous pouvons ainsi calculer

$$R_c = 10\,483 \, \frac{0,2158 - 0,0057}{0,4681 - 0,0057} = 4\,761,$$

Si nous construisons une courbe dont les abscisses sont proportionnelles aux valeurs des résistances $(g + s)$ et les ordonnées aux produits $m\,\varepsilon$ correspondants, nous pouvons interpoler sur cette courbe, pour trouver le shunt S_c qui donne l'amortissement critique, puisque nous savons qu'à ce moment l'élongation doit être

$$\frac{\varepsilon_\infty \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)}{e} = \frac{204,8}{2,718} = 75,3.$$

Nous voyons sur cette courbe (fig. 25) que le point correspondant a pour abscisse 4 713 ohms ; cette valeur diffère de la précédente de 48 ohms, c'est à dire 1 pour 100 ; il faut remarquer que la valeur de S choisie pour la mesure est trop petite, l'amortissement trop grand ne permet pas une observation assez précise de λ_R et T_R, il aurait fallu prendre S = 15 à 20 000 ohms. Néanmoins nous pouvons supposer, avec une grande probabilité, que l'erreur sera < 0,5 pour 100. Tous les coefficients relatifs à ce galvanomètre sont alors contenus dans le tableau II :

Tableau II

			impulsions			oscillations													
	$g+S$	m	ε_d	ε_g	ε	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	T	λ	$m\varepsilon$
∞	∞	1	455	53	201	455	60,5	439,5	74,5	425	87	412,5	98,5	400	109,5	389	6^s75		
						394,5									279,5				
						455	60,5	439,5	74,5	425,5	87	412,5	98,5	400	109,5	389	6^s68		
						394,5									279,5			0,0383	201
						455	60,5	439,5	74	425,5	87	412	98,5	400	109,5	389	6,71		
						394,5									279,5		——		
																	moyenne = 6,71		
10 000	10 483	1,0483	362,5	139	111,7	476	206,3	258,5	248								7,67		
						269,7			10,5									1,6277	117,1
						476	206,4	258,5	248								7,67		
						269,6			10,5										
8 000	8 483	1,060	350,8	150,6	100,1														106,2
6 000	6 483	1,080	335,2	165,3	84,95														91,7
5 000	5 483	1,097	326	174,5	75,75														83
4 000	4 483	1,121	315,2	185	63,10														73
3 000	3 483	1,161	302,5	197,5	52,50														61

g 483,5 à 23 ohms
D 1253
J 105,2

R_c 4737 ohms
T_0 6^s71
λ_∞ 0,038.

Ce tableau II qui renferme tous les résultats relatifs à la mesure de R_c, contient les élongations ε_g, ε_d et leurs moyennes ε, produites par la décharge ; les élongations suc-

cessives o, 1, 2, etc., du galvanomètre abandonné à lui-même et revenant au zéro ; enfin les amplitudes et les décréments calculés d'après cet élongation.

TABLEAU III

R_e	m	d_1	d_2	d_3	d	n	t	T	O	1	2	3	4	5	6		λ_{moy}	b	J	B
100 000 ω	10	280	219	280	30,5	20	14ˢ3													
						80	56,2	0,705											28,5	54
»	»	320	198	320	61	20	19,9													
						40	39,7	0,993											57	54,6
50 000	100	283	233	283	25	15	21,3	1,42	218	289	233	278	242,5	270		ε				
									71	56	45	35,5	27,5			a	0,237	0,167	116,8	54,9
									0,237	0,218	0,273	0,255				λ				
100 000	10	381,5	130,5	381,5	125,5	20	28,4	1,42									»	»	117,3	55,1
50 000	100	302,5	208,5	300,5	46,5	10	19,4	1,94	216	276	231	265	239	258 5	244	ε				
									60	45	34	26	195	145		a	0,284	0,146	217,4	55,1
									0,287	0,280	0,268	0.287	0,296			λ				
»	»	336	151	335	92,2	10	27,6	2,76	140	304	192.5	268	217	251,5	228	ε				
									164	111,5	75,5	51	34,5	23,5		a	0,388	0,140	431	54,2
									0,386	0,390	0,392	0,391	0,384			λ				
100 000	»	391	122	388	133,7	5	23,8													
						6	28,6	4,76	396	169	287	224,5	257,2	239,6		ε				
									227	118	62,5	32,7	17,6			a	0,639	0,138	1249	54,1
									0,654	0,635	0645	0,619				γ				
25 000	1 000	339	167,5	337,5	85,3	5	30.5													
						5	30,5	6,07	61	328,5	208,5	261	237,5			ε				
									267,5	120	52,5	23,5				a	0,811	0,133	1993	54,4
									0,802	0.846	0,784					λ				

Des valeurs du premier tableau nous pouvons tirer le coefficient de sensibilité du galvanomètre essayé, ainsi que sa sensibilité spécifique

$$B = \frac{105,2 \times 1\,000}{6,71^2 \times 1253} = 1,863,$$

$$B_1 = \frac{1,863}{\sqrt{483}} = 0,084.$$

Exemple d'essai d'un galvanomètre périodique. — Le galvanomètre essayé est un Thomson à 4 bobines avec équipage semblable à la figure 20. Les dispositions employées pour la mesure de la constante galvanométrique sont les mêmes que ci-dessus ; pour éliminer l'effet des déplacements de zéro qui sont assez sensibles, on a observé trois déviations : d_1, d_2, d_3 ; le tableau III indique le nombre d'oscillations mesurées dans le temps t et, par suite, la durée d'oscillation T, les élongations o, 1, 2, etc. pendant le retour à zéro, les valeurs successives des amplitudes et des décréments, le décrément moyen et le coefficient d'amortissement pour chaque durée d'oscillation observée, sauf pour les deux premières mesures de J où le mouvement est trop rapide ; enfin le coefficient de sensibilité calculé pour les différentes mesures. On peut constater que ce coefficient présente une valeur assez régulière. Les résultats obtenus sont tout ce que l'on peut espérer obtenir de mieux avec un galvanomètre dont l'amortissement est dû à la résistance de l'air.

La résistance du galvanomètre mesuré est

$$g = 13395 \text{ ohms à } 17^{\circ}.$$

La distance de l'échelle

$$D = 1060 \text{ divisions},$$

et la force électromotrice employée

$$E = 1^{v}\,07,$$

enfin le shunt réglé pour l'appareil e des pouvoirs multiplicateurs

$$m = 10,\ 100,\ 1000$$

Malgré les grandes irrégularités constatées dans le coefficient d'amortissement dont la

moyenne peut être prise égale à 0,145. On voit que le coefficient de sensibilité B ne présente pas d'écarts supérieurs à 2 pour 100 ; de la moyenne B = 54,55, nous pouvons tirer la sensibilité spécifique

$$B' = \frac{54,55}{\sqrt{13395}} = 0,47,$$

Le galvanomètre essayé est relativement peu sensible pour un Thomson, cela tient uniquement à la forme de l'équipage.

A. Armagnat.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Nouvel accumulateur Fulmen (1886)

La matière active 7 est maintenue dans les compartiments des cadres en plomb-antimoine

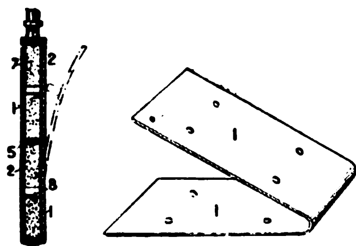


Fig. 1 et 2. — Nouvel accumulateur Fulmen.

3-4 par des enveloppes en parchemin ou en amiante, recouvertes d'armatures d'ébonite

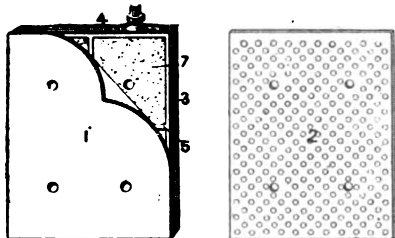


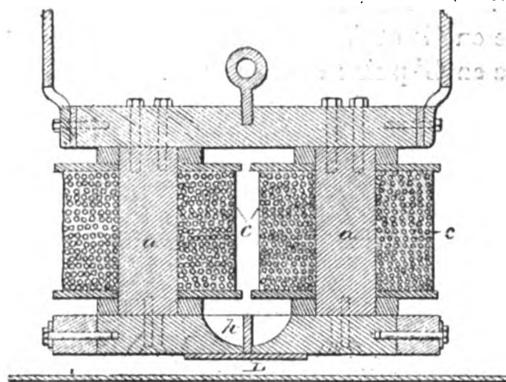
Fig. 3 et 4. — Nouvel accumulateur Fulmen.

perforée 2, reliées par des rivets d'ébonite 5, soudées à 2. On obtient ainsi des plaques très actives et, paraît-il, peu déformables.

G. R.

Trieur électromagnétique Wetherill

Le minerai tombe d'une trémie A (fig. 1 et 2) sur une courroie D, qui l'amène sous des électros-aimants C sous les pôles desquels passent des courroies transversales en toile L qui ramassent les parties magnétiques du minerai et les déversent par R dans des bacs appropriés.



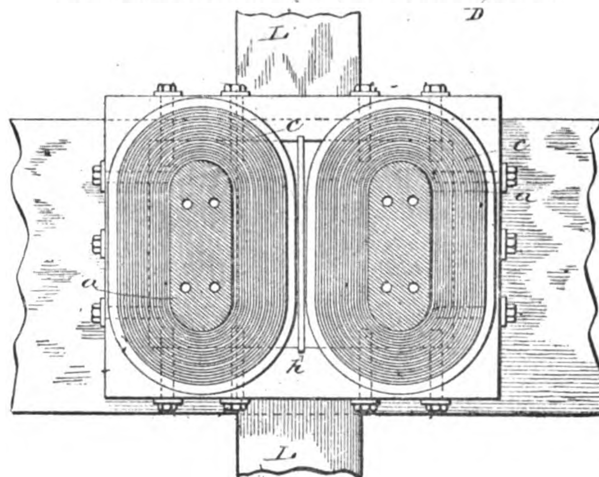


Fig. 1 et 2. — Trieur électromagnétique Wetherill.
Fig. 3 et 4. — Coupe longitudinale et transversale d'un électroaimant.

La construction des électros-aimants est indiquée par les figures 3 et 4 les noyaux *a*, de 170 mm de haut sur 60 de large et 200 de long, enroulés de 49 couches de fil de cuivre de 3,5 mm ont leurs pôles écartés de 20 mm, séparés par une languette d'ébonite *h*.

Avec trois de ces électros, parcourus par des courants continus de 50 volts, 5 ampères et disposés le premier à 13 mm de la courroie

D, le second à 10 mm et la troisième à 6 mm on peut séparer facilement d'un minerai de zinc la trooslite, la franklinite et la willemite.

La courroie D doit être plus large que la longueur des pôles *a*, de 50 mm environ, et le bec C de la trémie A un peu moins large.

Le minerai s'y déverse sur une épaisseur de 3 mm environ et s'y sépare en deux parties : l'une centrale tirée par les électros et déversée en G¹ et l'autre latérale non tirée, déversée en G² puis ramenée en A.

G. R.

Accumulateurs Schneider (1896).

Le fond de l'auge *g* est garni d'une feuille épaisse de caoutchouc *a*, avec pièces d'ébonite *h* supportant directement les plaques négatives *nf* et, par les étançons d'ébonite *s*, les plaques positives *pe*. Des tubes d'ébonite *r*, garnis d'une fourrure en caoutchouc *b*, passée entre les projections *e* et *f* des plaques *p* et *n*, les isole des parois de l'auge et les maintient à l'abri des chocs. L'auge est fermée par un couvercle de caoutchouc souple *d*, tendu et serré en *x*, percé de trous pour le passage des électrodes

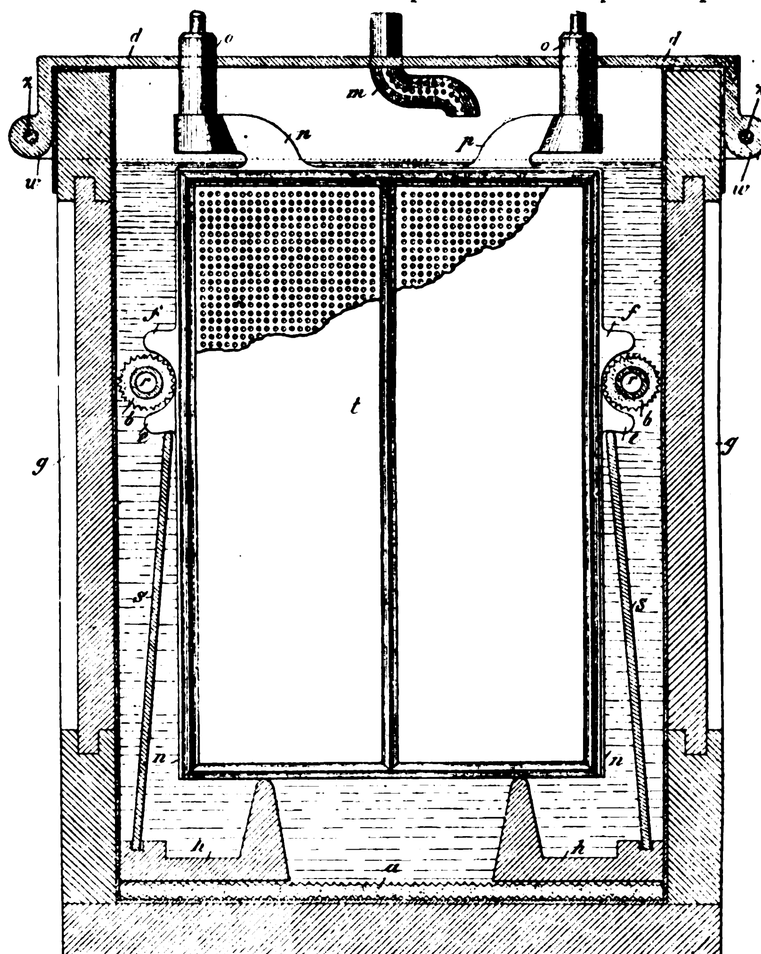


Fig. 1. — Accumulateurs Schneider.

op, *on* et l'évacuation des gaz par *m*. Ce type d'accumulateurs, étudié spécialement pour le service des tramways, est parfaitement enfermé et bien à l'abri des chocs.

G. R.

Compteur Hookham et Holden (1895).

Dans les compteurs à disque le frottement au départ est trop variable ; dans l'appareil actuel (fig. 1 et 2), on ajoute au disque une petite pièce de fer doux A, toujours ramenée,

à l'arrêt, entre les pôles de l'aimant permanent B, et qui oppose, au départ, une résis-

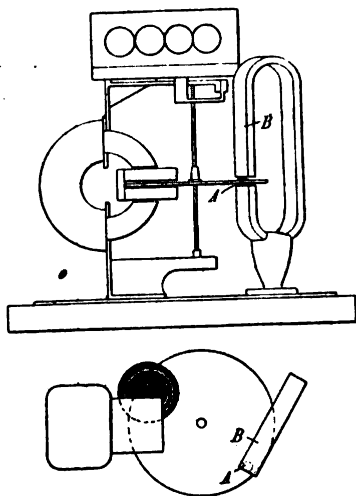


Fig. 1 et 2. — Compteur Hookham et Holden

tance constante beaucoup plus grande que celle du frottement dont l'influence des variations se trouve ainsi éliminée.

G. R.

Calcul de l'emplacement correct des fils à trôlet dans les courbes, par S. L. Foster [1].

En ligne droite, le fil à trôlet est placé en l'air verticalement au dessus de l'axe de la voie ; aux passages en courbes, il ne doit plus en être de même. Le schéma de la figure 1 permet de comprendre les raisons de ce point trop souvent négligé.

Sur cette figure, les dimensions ont été intentionnellement exagérées, et tous les organes sont représentés en projection horizontale.

O représente le centre de la courbe supposée circulaire ; A B D représente la courbe axiale de la voie. L'axe de la voiture, guidée sur les rails (non représentés) par ses roues, occupe la position d'une corde G D, dont la longueur dépend de l'empâtement du truck (distance entre les centres des essieux ou le centre des boggies) ; le bras du trôlet est pivoté sur le toit de la voiture au milieu F de la longueur de cette corde ; pour venir au contact du fil, il est forcé de prendre une position inclinée FI ; la roue qui le termine est alors située diagonalement par rapport au fil ; il en résulte une usure excessive de ce dernier et, en outre, la roue tend à dérailler.

Pour que ces inconvénients soient évités, il faut évidemment que le bras du trôlet soit tangent à la courbe en chaque point ; soient F M

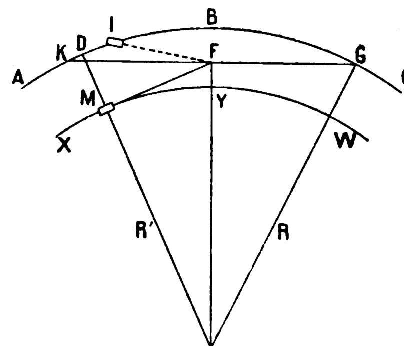


Fig. 1.

cette position et X Y W la courbe correspondante.

Dans le triangle O F G, on a

$$\overline{OF}^2 = \overline{OG}^2 - \overline{FG}^2,$$

ou, si l'on appelle D l'empâtement et R le rayon de la courbe

$$\overline{OF}^2 = R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2. \qquad (1)$$

D'un autre côté, dans le triangle O FM, on a

$$OM = R' = \sqrt{\overline{OF}^2 - \overline{MF}^2}.$$

M F représente la projection horizontale du bras de trôlet ; appelons la P ; on aura en tenant compte de (1) :

$$OM = R' = \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2 - P^2}. \qquad (2)$$

Il ne reste plus qu'à évaluer la projection P du bras du trôlet en fonction de la longueur L de ce bras et de la hauteur H du fil au dessus de la base du trôlet ; elle est évidemment égale à

$$P = \sqrt{L^2 - H^2}.$$

[1] *The Street Railway Journal*, juin 1896, p. 366.

L'équation (2) devient donc

$$OM = R' = \sqrt{R^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2 - L^2 + H^2}.$$

Connaissant le rayon R' de la courbe du fil on peut aisément poser celui-ci.

La distance R — R' du fil à la position médiane représentée par ABC dans la figure 1 est souvent importante,

Soient, par exemple,

D (empâtement)	=	2 m,
L (longueur du bras)	=	4 m,
H (hauteur du fil au dessus du toit de la voiture)	=	2,6 m,
R (rayon de la courbe médiane)	=	18,3 m,

On aura :

$$R' = 18 \text{ m}.$$

C'est à dire que l'écart entre la position vraie et la position fausse est de 0,30 m.

Si, toutes autres choses égales, on emploie une voiture longue, montée sur deux boggies, distants, de centre en centre de 6,7 m, on aurait

$$R' = 17{,}73 \text{ m},$$

et

$$R - R' = 0{,}57 \text{ m}.$$

La valeur de R' s'applique au milieu de la courbe ; vers les points de raccordement avec les parties en alignement droit, il faut évidemment racheter peu à peu la différence.

En outre, si des voitures de modèles différents sont en service sur la même voie, on adopte une solution moyenne entre les solutions convenant dans chaque cas particulier.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Vibrations dans les excitateurs hertziens de forme complexe, par J. Ritter v. Geitler (1)

L'auteur a trouvé précédemment que les excitateurs de forme simple émettent non pas une seule onde, mais simultanément plusieurs ondes de longueurs très-voisines. Il avait pensé, en prenant un circuit secondaire très long par rapport à l'excitateur, que ce circuit transmettrait seulement les vibrations émises par l'excitateur, dont la période serait fort allongée en augmentant la capacité. Les expériences de M. Bjerknes, de l'auteur et de divers autres physiciens semblaient justifier cette manière de voir et démontrer que des ondes se propageaient dans le circuit secondaire. Mais l'observation rapportée ci-dessous prouve que le circuit primaire et le circuit secondaire, si grande que soit la longueur de ce dernier, forme un seul système vibrant et que les vibrations observées appartiennent à ce système. En réalité, le circuit secondaire joue à la fois le rôle d'un excitateur et d'un transmetteur d'ondes.

Les deux dispositions expérimentales qui ont été employées sont représentées schématiquement figures 1 et 2.

En face d'un excitateur de Hertz *afa'* relié à une forte bobine d'induction se trouve un circuit de Lecher *bBb'*. La distance entre les plaques *a* et *b* d'une part, *a'* et *b'* de l'autre est variable, la longueur du circuit secondaire se règle en déplaçant le pont B. Les vibrations émises par l'excitateur sont étudiées au moyen du résonateur R, et de l'électromètre E; la longueur du résonateur se règle par le pont B'. Les dimensions principales de l'appareil sont les suivantes :

L'intervalle explosif *f* est formé par deux sphères de 2 cm de rayon, le fil primaire a 2 mm de diamètre, les plaques de zinc *a a' b b'* sont circulaires, et leur diamètre est de 20 cm. $ll' = 50$ cm $lm = l'm' = 100$ cm $mn = m'n = 35$ cm.

Le fil secondaire aussi en cuivre doux a 1 mm de diamètre, la distance entre les portions parallèles à partir de *pp'* est de 3 cm environ, de *p* ou de *p'* à la plaque correspondante la distance, est de 35 cm dans l'appareil 1 et de 40 cm dans l'autre. Le résonateur est formé par des fils de 2 mm de diamètre,

(1) *Wied. Ann.* t. LVII p. 412.

distants de 5 cm son plan est à 10 cm au dessus du plan du conducteur primaire, ce qui est suffisant pour annuler leur réaction mutuelle.

Pour faire une expérience, on détermine au moyen du résonateur la longueur d'onde du circuit primaire avant d'y attacher le secondaire, cette longueur d'onde varie, il faut le

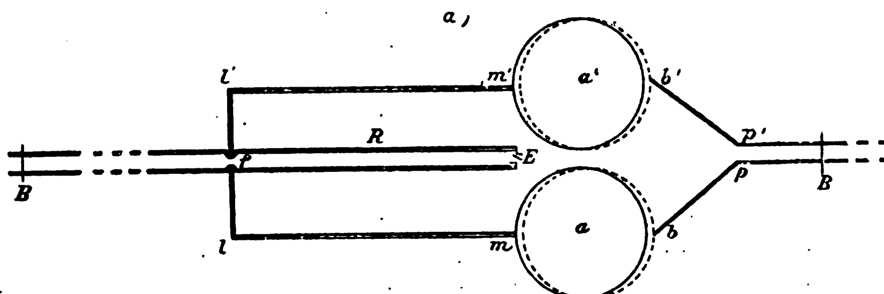


Fig. 1.

remarquer avec la distance des plaques *a b* — *a' b'*. Ensuite on attache le circuit secondaire, on place le pont B sur *p p'* et on cherche les positions du pont B' pour lesquelles la résonance se produit. Cette détermination est répétée pour diverses positions du pont B.

On trouve ainsi qu'en général le circuit primaire d'un appareil de Lecher émet, pour

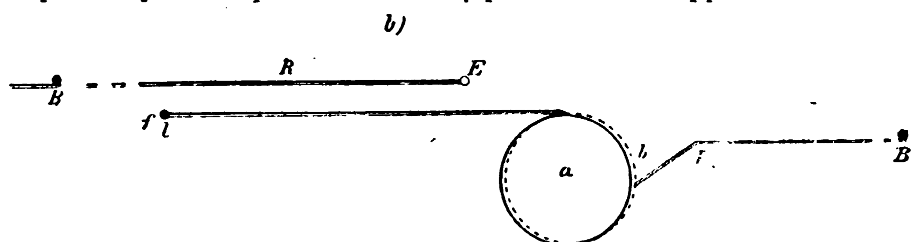


Fig. 2.

chaque longueur du circuit secondaire, à la fois plusieurs ondes de période et d'intensité différentes et variant suivant une loi déterminée avec la longueur du secondaire. Parmi les périodes, les unes sont plus longues, les autres plus courtes que la période de la vibration propre du primaire isolé.

Le nombre de vibrations simultanées qu'on

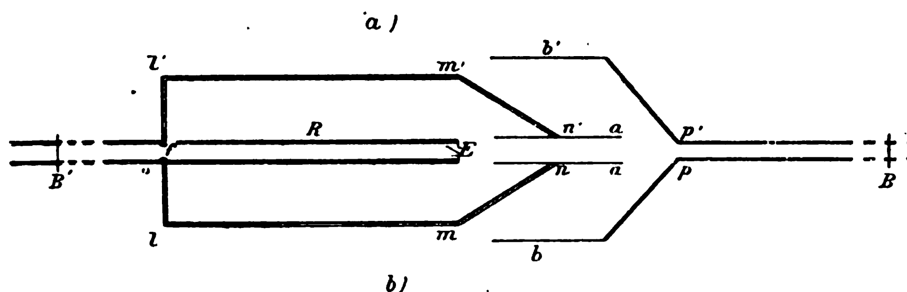


Fig. 3.

peut reconnaître paraît dépendre de l'action réciproque des deux circuits, car il augmente quand on rapproche les plaques primaires des plaques secondaires ; il est à remarquer encore que la plus grande intensité ne correspond pas forcément à la plus grande longueur d'onde.

On pourrait dans une certaine mesure comparer l'ensemble des vibrations émises par un tel excitateur au spectre d'un corps lumi-

neux, on observe même des doublets de vibrations de longueurs d'ondes assez voisines, qui rappellent les doublets de raies, et les rapports entre les deux longueurs d'onde sont du même ordre de grandeur dans les deux phénomènes. Une autre comparaison est fournie également par les vibrations d'une corde.

Théorie. — Pour appliquer la théorie à ce cas complexe, il faut suivre la méthode indiquée par Kirchhoff et considérer un système de *n* excitateurs simples qui influent l'un sur l'autre d'une manière quelconque. Le calcul conduit à ce résultat qu'un semblable système produit simultanément *n* vibrations au plus : ces vibrations sont différentes entre elles et ne dépendent pas des vibrations propres des *n* excitateurs considérés séparément; il en est encore ainsi même quand le système possède un plan de symétrie.

En appliquant les formules à quelques cas simples réalisés expérimentalement (appareils de Tesla, de Blondlot, de Lecher) on trouve des résultats conformes à ceux que donne l'expérience.

La théorie en question ne tient pas compte d'ailleurs de l'amortissement et de la périodicité qui se produisent quand la résistance des fils n'est pas négligeable, ni des harmoniques supérieurs qui prennent naissance quand la capacité des fils n'est plus très petite par rapport à celle des condensateurs.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Vertheilung des Lichtes und der Lampen (Distribution de la lumière et des lampes), par J. HERTZOG et C. P. FELDMANN. — *J. Springer,* éditeur, Berlin.

L'intéressant opuscule dont nous venons de donner le titre est dédié aux architectes et aux ingénieurs ; mais les électriciens trouveront à le lire un profit tout spécial. Les noms seuls des auteurs, bien connus de nos lecteurs, suffiraient à leur en donner le désir, et ils n'ont pas à craindre de désappointement.

Les 55 pages de ce petit livre, d'ailleurs parfaitement édité, contiennent sous une forme à la fois très simple, très accessible, et en partie nouvelle, un résumé de tous les renseignements de photométrie pratique qu'il est utile de posséder pour établir un projet rationnel d'éclairage par lampes à arc ou à incandescence ; ce n'est pas d'ailleurs un aide-mémoire, mais bien un véritable petit traité, où la théorie tient une assez large part, comme on va en juger par une courte analyse.

Les auteurs commencent par définir d'une manière parfaitement rigoureuse les grandeurs et unités photométriques, conformément au système « Pyr-Lumen-Lux » que connaissent sans doute les lecteurs de ce journal (¹). Ils y introduisent cependant une variante qui n'est pas absolument orthodoxe et qui consiste à donner au « Pyr » la valeur non pas de la bougie décimale, mais de l'étalon Hefner, qui, d'après eux, en diffère de 2 pour 100 environ. Cette petite différence ne présente pas d'inconvénient pour la pratique, étant donné la faible précision que l'on apporte la plupart du temps aux déterminations photométriques et l'incertitude qui règne sur la constance de l'étalon Violle. Quoiqu'il en soit, nous sommes heureux de féliciter ici les auteurs de l'esprit libéral et progressiste dont ils ont fait preuve et du caractère éminemment clair et rigoureux qui distingue leur ouvrage de tous ceux parus jusqu'ici sur le même sujet.

Une seconde partie résume tout ce dont on a besoin au sujet des propriétés des lampes électriques ; on y trouve en particulier des courbes et des rendements de lampes à arc de « l'Hélios », à courants alternatifs, sur lesquelles M. Feldmann possède des renseignements de première main.

La théorie des éclairements est ensuite traitée avec d'intéressants développements où l'on a tenu compte des considérations géomé-

(¹) Voir la *Lumière Électrique,* 9 juillet 1894 et l'*Éclairage Électrique,* 22 Août 1896.

triques dues à Trotter et à Weber. Les systèmes de réflecteurs et de globes sont ensuite passés en revue ; on y retrouve entre autres les systèmes dioptriques dont M. F. Guilbert a publié une intéressante description dans ce journal tout récemment.

Enfin vient la partie la plus pratique, celle des applications et de la détermination du nombre de lampes à employer dans chaque cas : éclairage public, éclairage des grands locaux, éclairage intérieur ordinaire.

L'exemple le plus intéressant cité est celui de l'éclairage des salles de gala du Château Royal de Budapest. Les auteurs rapportent leurs calculs de nombres de lampes aux surfaces de plancher et aux volumes des salles ; on peut regretter qu'ils n'aient pas essayé comparativement une autre méthode indiquée dans l'article cité plus haut, à savoir la mesure du flux total nécessaire d'après la *surface cumulée* des parois horizontales et verticales de la salle, en tenant compte du pouvoir diffusant moyen de ces parois. Mais les chiffres cités donneront dans tous les cas analogues de précieuses indications,

Nous espérons avoir montré par ce rapide aperçu l'intérêt que présente ce petit livre ; nous n'avons pas besoin d'en faire davantage l'éloge ; nous ajouterons seulement qu'il serait à souhaiter de rencontrer dans la littérature électrique un plus grand nombre d'ouvrages de ce genre, qui constituent une œuvre de vulgarisation précise sans pédanterie, au lieu d'un amas indigeste de matériaux comme c'est le cas trop souvent.

« Non multa, sed multum », pourrait-on écrire en tête de l'œuvre de MM. Hertzog et Feldmann, et nous les en félicitons sincèrement ; leur travail est appelé à un réel succès auprès de tous ceux qui le liront.

A. B.

L'Acétylène, par J. REYVAL, Ingénieur Électricien. Un vol. in-8° de 76 pages avec 15 fig. dans le texte, Paris, 1896, *Alcan-Lévy*, 24 rue Chauchat, éditeurs (Prix : 2 fr. avec une boite de carbure de calcium).

Le nom de J. Reyval est bien connu ; de nombreux articles ont paru dans nos colonnes sous sa signature ; nous n'avons donc pas à le présenter à nos lecteurs. Nous n'aurions non plus à peine besoin de présenter son ouvrage, car celui-ci a été accueilli dès son apparition avec un succès marqué et est aujourd'hui très répandu. Ce succès n'a du reste rien qui doive nous étonner, car l'auteur a fait à *L'Éclairage Électrique*, (sans le citer), de nombreux emprunts et surtout, a eu l'heureuse idée de joindre à chaque exemplaire de son ouvrage une boite de carbure de calcium, ce qui permet au lecteur de répéter lui-même les expériences décrites. Tant de personnes ont entendu parler de l'acétylène, dans ces derniers temps, sans avoir jamais eu occasion de voir ce brillant mode d'éclairage qu'on doit attribuer à cette cause une partie du succès de l'ouvrage.

Celui-ci est d'ailleurs très bien fait : conçu au point de vue élémentaire, il donne sur chaque point traité des renseignements clairs et précis, qui permettent à toute personne, même la moins au courant de la question, de se faire une opinion motivée après avoir lu ces quelques pages écrites par un expérimentateur exercé.

L'auteur n'a pas cherché à faire un traité complet sur l'acétylène ; il a su se limiter aux points les plus intéressants. Après avoir retracé l'historique de la question, expliqué comment on fabrique le carbure de calcium, quelles sont les propriétés et les avantages de l'acétylène, il aborde, dans la deuxième partie, la description des appareils générateurs à acétylène, en insistant principalement sur les lampes portatives dont il décrit de nombreux modèles. Il détermine, par une discussion serrée, les conditions auxquelles elles doivent satisfaire et les nombreux inventeurs qui s'occupent de cette question pourront y puiser d'utiles inspirations.

La troisième partie est consacrée aux industries chimiques dérivées de l'acétylène et principalement à la fabrication de l'alcool, une des plus importantes et certainement la plus curieuse puisqu'elle permettrait d'obtenir

cette boisson hélas si répandue avec du charbon, de la chaux et de l'acide sulfurique ! Il semblerait à première vue qu'on ne pourrait obtenir ainsi qu'un liquide justifiant le surnom populaire de vitriol donné à l'alcool et pourtant, nos lecteurs savent que l'alcool ainsi produit serait plus pur que le meilleur alcool de vin !

G. Pellissier

Ouvrage reçu

Les applications de l'électrolyse à la métallurgie, par U. Le Verrier, ingénieur en chef des mines. Un vol. in-8° de 57 pages et 17 figures. *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs, Paris.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Bâle. — Transport de force. — Depuis quelque temps déjà les autorités cantonales de Bâle avaient envisagé la possibilité d'utiliser la puissance motrice du Rhin pour la production, sur une large échelle, d'éneigie électrique destinée à l'éclairage et la force motrice dans la ville de Bâle. Après une étude sérieuse de la question et des projets qui lui furent remis, les autorités ont décidé en premier lieu de faire construire une station centrale. Les eaux du Rhin qui l'alimenteront seront captées à Augst distant d'environ 4 km de Bâle, et dérivées par un tunnel qui les amèneront aux turbines. Le débit de ce tunnel permettra d'obtenir 9000 chevaux. En cas d'insuffisance il sera toujours possible de construire un barrage en aval du canal d'amenée pour obtenir un débit plus considérable. L'équipement de cette station comprendra deux groupes composés chacun d'une turbine et d'un alternateur clavetés sur un même axe vertical. La tension du courant des générateurs sera de 2000 volts.

Un réservoir de très grande capacité qui servira à compenser les inégalités de niveau du fleuve, sera construit à Birsfelden.

Détroit (Michigan). — Station centrale. — La cité américaine de Détroit n'a, à l'heure actuelle, plus rien à envier à ses voisines possédant l'éclairage électrique, car elle est dotée d'une superbe station centrale produisant l'énergie électrique qui est distribué dans tous les points de la ville. Cette usine récemment inaugurée est munie de générateurs électriques et d'appareils accessoires les plus perfectionnés. Son équipement, que nous décrirons sommairement, se compose de 5 moteurs à vapeur à triple expansion d'une puissance individuelle de 340 chevaux avec une vitesse de 200 tours par minute. L'arbre de chacun de ces moteurs porte, à chaque extrémité, un volant strié de 14 rainures recevant deux groupes de 7 câbles, chaque groupe servant à actionner une dynamo.

Les générateurs électriques sont au nombre total de 21 dont 18 dynamos à courant continu de 50 kw pour l'éclairage à arc en série et 3 alternateurs à courant biphasé de 55 kw. Un de ces derniers est couplé à un moteur à condensation et employé seulement pour l'éclairage de jour. Les 20 autres, divisés en 5 groupes de quatre, sont actionnés simultanément par les 5 moteurs. Le rendement des générateurs électriques est de 86 pour 100 Les pertes de transmission par câbles, évaluées par comparaison avec un couplage direct, n'excèdent pas 3 pour 100.

Le courant engendré à la station génératrice est réparti, après avoir traversé les instruments de mesure et appareils complémentaires d'un tableau de distribution, sur le réseau de la ville. Ce réseau est divisé en deux sections ; l'une souterraine logée dans des caniveaux où chaque câble est isolé de ses voisins par des tuyaux en terre superposés, variant en nombre de 6 à 16 selon l'importance de l'artère ; l'autre aérienne supportée par des poteaux. Les câbles sont recouverts d'isolant dans les deux cas.

L'éclairage des rues est fourni par des lampes à arc supportées par des pylônes ; celui des places et carrefours par des groupes de lampes supportés par des tours métalliques dont la hauteur atteint jusqu'à 50 m au dessus du niveau du sol. L'éclairage particulier se compose en grande partie de lampes à incandescence alimentées par les courants biphasés produits par les deux alternateurs. La tension élevée de ces courants est ramenée à 120 volts pour l'utilisation par une série de transformateurs réducteurs installés à la station génératrice même.

Les frais généraux de construction de la station, d'équipement et d'installation du réseau, relevés en juillet 1896, se sont élevés à 3150708,60 fr. tous frais compris.

Elmira (*Amérique*). — *Traction*. — L'exploitation des tramways électriques de la ville d'Elmira est sous le contrôle de deux compagnies, la Elmira and Horshead et la West Side Railway Company. Le courant nécessaire à l'exploitation en commun de ces tramways est fourni par deux stations centrales. La première de ces stations appartient à la Elmira Illuminating Company qui, moyennant un prix stipulé, fournit du courant à un réseau d'environ 25,5 km de longueur totale desservi par 12 à 15 voitures.

L'équipement spécial de cette station servant à l'exploitation des tramways se compose de deux moteurs à vapeur couplés en tandem d'une puissance totale de 700 chevaux actionnant à l'aide d'une transmission par courroie, deux dynamos Edison de 75 kw et une Westinghouse de 150 kw. Le courant produit par ce groupe de générateurs est contrôlé par les appareils d'un tableau de distribution et réparti sur le réseau au moyen de 9 feeders aboutissant aux fils aériens des lignes. Le trafic est assuré par 18 voitures motrices fermées, 6 ouvertes et 7 de remorque.

La seconde station centrale affectée à l'autre partie du réseau est située dans la College Avenue à environ 5 km du centre de la ville. Son équipement se compose de deux machines à vapeur Corliss de 135 chevaux chacune, couplées à deux dynamos Thomson Houston de 90 kw et d'un autre groupe composé d'un moteur de 300 chevaux entraînant deux dynamos Westinghouse de 100 kw.

Tous les générateurs d'énergie électrique sont à 4 pôles ; les pièces polaires sont en fonte. Les armatures des deux unités de 90 kw sont à anneau ; celles des unités de 100 kw à tambour. La tension du courant, inégale pour les deux groupes, est ramenée par un dispositif compensateur à 515 volts avant la répartition du courant dans les feeders. De plus, afin de prévenir les emballements provoqués par une cause quelconque sur le réseau, la Compagnie a fait installer un dispositif d'arrêt automatique sur les valves d'admission de vapeur des moteurs. Ce dispositif se compose de deux électroaimants dont les armatures agissent, l'une sur la prise de vapeur, l'autre sur un commutateur.

Cette seconde partie du réseau est desservie par 27 voitures motrices. Un chasse-neige électrique sert à déblayer les voies en hiver. Les essais faits avec ce dernier ont permis de constater que l'intensité du courant était sensiblement invariable, tandis que pour les moteurs des voitures cette intensité varie de 70 à 120 ampères. La longueur totale du réseau est d'environ 14 kilomètres.

Liège (*Belgique*). — *Éclairage*. — Les journaux annoncent que des essais d'éclairage électrique viennent d'avoir lieu sur la place Lambert. Les nouvelles lampes reliées au réseau de la Société d'électricité et entièrement semblables à celles des rues avoisinantes ont donné de bons résultats. Le nouvel éclairage fonctionnera d'une façon régulière incessamment.

Pittsfield (*Mass.*). — *Traction*. — La Compagnie des tramways électriques de Pittsfield vient d'apporter des changements importants dans son matériel d'exploitation.

A la station, les générateurs électriques d'un modèle déjà ancien ont été remplacés par trois dynamos Westinghouse à courant continu. Deux de ces machines ont une puissance individuelle de 40 kilowatts et sont couplées à l'aide d'une transmission par courroie à un nouveau moteur à vapeur.

La troisième dynamo du type le plus récent construit par la Westinghouse Company, a une puissance de 150 kilowatts sous la tension, égale à celle des deux autres, de 570 volts. Cette dernière est actionnée par un arbre intermédiaire mû lui-même par une transmission par courroie qui le relie à un arbre principal actionnant d'autres générateurs électriques appartenant à la Pittsfield Electric Company.

Le courant produit par les générateurs de la Compagnie des tramways est distribué sur la ligne par un fil aérien. La longueur totale du réseau est d'environ 15,5 kilomètres. Il est desservi par 12 voitures motrices dont 10 sont munies de 2 moteurs de 30 chevaux et les deux autres de 2 moteurs de 40 chevaux. La plupart de ces voitures sont de construction récente et présentent la particularité d'avoir, à chaque extrémité, un compartiment fermé où se tient le conducteur chargé de la manœuvre des appareils de mise en marche et d'arrêt. Toutes sont éclairées à l'électricité, y compris les fanaux d'avant et d'arrière.

Philadelphie. — *Traction*. — Le consul de France à Philadelphie, sur la demande de M. le Maire de Lyon, a fourni au Conseil Municipal de cette ville d'intéressants renseignements sur la traction électrique à Philadelphie.

Nous extrayons de sa lettre le résumé suivant :

La traction animale a complètement disparu de Philadelphie depuis deux années, ainsi que la traction funiculaire ; il n'y existe plus que la traction électrique par fil aérien ou trôlet. Quatre compagnies existaient au commencement de l'année, savoir :

1° La Philadelphie Traction, couvrant 158 miles et ayant 800 voitures ;

2° L'Electric Traction C°, couvrant 100 miles et ayant 550 voitures ;

3° L'Ocoples Traction C°, couvrant 50 miles et ayant 700 voitures ;

4° La Hetonville, Mantua et Kairimont C°, couvrant 18 miles et ayant 150 voitures environ.

Soit un total de 318 miles (512 kilomètres) et 2 200 voitures au minimum.

Ces quatre compagnies se sont fondues en une seule très puissante, qui a pris le nom d'Union Traction C° avec un capital de 200 millions de francs.

Le nombre des voitures va être à peu près doublé dans l'exercice actuel, afin d'avoir un service complet de voitures ouvertes pour l'été et fermées pour l'hiver. Toutes ces lignes sans exception sont à conducteurs aériens à trôlet.

Les appareils électriques sont fournis par la Westinghouse C° et la General Electric C°. Le prix de revient par mile (1 609 m) pour équiper toutes ces lignes, comprenant l'énergie électrique, dynamos, machines, voitures et matériel d'exploitation est d'environ 375 000 fr soit, par kilomètre, 230 000 francs.

Le prix de revient pour la production de la force motrice est de 0,0215 par km. Enfin le prix de revient de la mise en opération d'une voiture y compris le salaire des employés s'élève à environ 40 centimes par voiture-kilomètre.

On a calculé qu'on réalisait avec le système à trôlet, une économie de 55 pour 100 sur la traction animale et de 20 pour 100 sur la traction funiculaire.

En l'année 1894, les diverses lignes ont transporté 200 millions de voyageurs, et comme la population dépasse un million d'habitants, on en déduit que chacun d'eux a été transporté au moins 200 fois dans le cours de l'année. Le tarif est de 5 *cents* (24 centimes) par personne.

Le seul inconvénient qui résulte de ce système, est le danger provenant de la vitesse. Pendant les deux ans et demi qui suivent la date de l'établissement du trôlet, 109 personnes ont été tuées.

Il a été passé récemment une loi obligeant la Compagnie des tramways à munir toutes leurs voitures d'appareils protecteurs pour recueillir les personnes renversées.

Potencia (*Mexique*). — *Transport de force.* — L'application de l'énergie électrique à l'exploitation des mines prend chaque jour des proportions croissantes en Amérique. Nous apprenons que la C° Anonima de Transmission Electrica à Potencia, installe actuellement une station centrale destinée à fournir de l'énergie électrique aux mines de la Compagnie du Rio del Monte où elle sera utilisée comme force motrice pour tous les besoins de l'exploitation.

La station hydraulique sera construite près d'un torrent, l'Arroyo de Regla, et sera distante d'environ 37 km du lieu d'utilisation le plus éloigné. L'eau de ce torrent sera dérivée dans un canal à ciel ouvert de 2, 3 km de long débouchant dans une série de tunnels, la configuration du terrain ne permettant pas la continuité du canal ; tous ces tunnels aboutiront à un réservoir commun situé à 25 m de haut et d'où l'eau sera amenée aux turbines par 5 conduites en fonte alimentant chacun une roue Pelton de 400 chevaux couplée à un générateur multipolaire de courants triphasés. Les 5 alternateurs donneront une tension de 700 volts avec une vitesse angulaire de 600 révolutions par minute. Le courant d'excitation sera fourni par deux dynamos à courant continu actionnées séparément par deux autres roues Pelton à la vitesse de 1 700 tours. Des transformateurs élèveront la tension de 700 à 10 000 volts.

L'énergie produite sera répartie entre 3 stations transformatrices où la tension de 10 000 volts sera réduite dans le rapport de 15 à 1 pour l'utilisation. La ville de Pachuca située à proximité de la station sera probablement éclairée à l'électricité. L'installation complète coûtera 1 500 000 francs.

Rheinfelden (*Allemagne*).— *Transport de force.* — Parmi les nombreuses stations centrales qui utilisent l'énergie hydraulique pour sa transformation en énergie électrique destinée aux transports de force pour les besoins industriels, nous pourrions citer celle de Rheinfelden actuellement en cours de montage. Cette nouvelle station, située sur les bords du Rhin dont elle utilisera la puissance motrice, produira du courant qui sera presque entièrement employé à la fabrication du car-

bure de calcium et à l'affinage de l'aluminium.

L'installation hydraulique a été calculée pour l'emplacement de 20 turbines à réaction distantes les unes des autres de 3,37 m.

Les générateurs électriques qui occupent l'étage supérieur seront directement couplés aux axes des turbines. Leur puissance individuelle est de 720 kw et la tension de 6 800 volts, portée ensuite à 16 500 volts. Outre les transformateurs statiques on emploiera deux transformateurs rotatifs à courant continu pour charger une batterie d'accumulateur qui servira de réserve pour alimenter les lampes de l'éclairage pendant les jours d'arrêt.

Rotterdam (*Hollande*).— *Station centrale et transport de force*.— L'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 3 septembre donne un exposé très détaillé, de la nouvelle installation de la station centrale de Rotterdam dont nous en extrayons le résumé suivant: La station électrique, dont l'équipement vient d'être terminé, comprend deux alternateurs de 175 kw actionnés par deux moteurs Willans, et une dynamo à courant continu couplée à un autre moteur Willans servant à l'éclairage de la station et de ses dépendances. La totalité du courant alternatif produit est réparti entre deux sous stations pourvues chacune de deux transformateurs rotatifs et d'une puissante batterie de 252 éléments Tudor dont la capacité maxima est de 1000 amp. heures pouvant fournir un courant de décharge de 300 ampères.

Le courant de chaque batterie est ensuite réparti sur un réseau à cinq fils, alimentant un grand nombre de lampes et de moteurs électriques, et actionnant des grues pour le transbordement des marchandises sur les quais du port.

Santiago (*Chili*).— *Éclairage*.— La municipalité de cette ville ayant, depuis quelques temps, ouvert un concours de projets d'établissement d'un réréseau de tramways électriques, vient de décider que d'autres projets concernant l'éclairage de la ville seraient reçus en dâte du 15 novembre 1896. En conséquence la municipalité prévient les proposants que ces projets, concernant l'éclairage pour une période de vingt ans, devront porter tous les détails relatifs à la question, y compris les frais d'installation partiels et généraux, ainsi que le coût annuel d'exploitation.

Les projets devront être dressés selon l'une des éventualités suivantes, savoir :

a) Câble souterrain dans toute la ville ;

b) Câble aérien dans toute la ville ;

c) Câble souterrain dans le quartier compris entre Mapocho et l'Alameda et les rues San Antonio et Morandé.

L'adjudicataire devra déposer un cautionnement de 270 000 fr en garantie de l'accomplissement de son projet. Ce dépôt restera acquis à la ville si l'adjudicataire ne remplit pas les conditions stipulées dans son contrat.

Skien (*Norvège*).— *Station électrolytique*.— Une Société anglo-norvégienne constituée au capital de 2 125 000 fr s'est rendue acquéreur des usines Cappelen, situées à Skien, pour y monter une fabrique de soude et de chlorure de chaux par l'électrolyse.

Trollhatan (*Suède*). — *Station centrale*. — On rapporte qu'une Société récemment formée ayant à sa tête le Dr de Laval et un ingénieur de Stokolm, M. Rosbakm vient d'obtenir du gouvernement suédois l'autorisation d'ouvrir une souscription pour réunir un capital destiné à servir au traitement, sur une large échelle, des minerais par la fusion électrique. La Société dont le capital sera d'au moins 20 millions de francs, doit exploiter tous les brevets de Laval pour la fusion électrique, et se rendre acquéreur des chutes d'eau de Trolthatan, dont la puissance est évaluée à 24 000 chx. On espère, dans ces conditions, pouvoir exploiter économiquement tous les minerais dont la Suède est si riche.

Varèse (*Italie*). — *Traction*. — La Société anonyme *Tramvie Elettriche Varesine* annonce comme prochaine la construction d'une ligne de tramways à traction électrique Luino-Ghirla-Varèse, passant par le val Cuvio.

DIVERS

Chemin de fer électrique à rail central, à Nantasket-Beach. — Nous avons signalé en son temps l'essai de traction électrique fait sur la ligne de Nantasket-Beach (Voir N° du 21 septembre 1895, p. 574). On se souvient que la prise de courant était à trôlet avec conducteur aérien. Des essais viennent d'être faits pour comparer l'emploi du troisième rail et des sabots de contact. Ce dernier système serait adopté définitivement.

Le rail conducteur sera électrisé sur toute sa longueur, et sera muni d'un système de protection

analogue à celui qui était employé sur l'Intramural à l'exposition de Chicago. Chaque rail est monté sur trois blocs en bois qui l'isolent du sol ; il est large et plat et est muni de rebords qui descendent sur les blocs de bois, et qui donnent au tout une section analogue à celle d'un V renversé. Les blocs en bois ont environ 15 cm de côté sur 11,5 cm de hauteur; la hauteur totale du tout au dessus des traverses est de 15 cm ; c'est à dire dépassant de 3 1/2 à 4 cm au dessus de la voie de roulement.

L'emploi du kérosène au lieu de sel pour l'enlèvement des neiges. — On sait que le sel qu'on emploie pour faciliter l'enlèvement de la neige sur le sol n'est pas sans de nombreux inconvénients. M. *K. Bowen*, superintendant de la Chicago City Railway Company, déclare dans le *Street Railway Journal* n'avoir pas employé de sel sur aucune des lignes de cette compagnie depuis deux ans ; on a employé en place du kérosène sur toutes les parties susceptibles de geler, telles que les aiguilles. L'enlèvement des neiges en alignement droit était fait par des moyens mécaniques et jamais d'autres moyens n'ont été nécessaires. Les résultats ont été très satisfaisants. Les dépenses ont été moindres qu'avec le sel et tous les accidents provenant de la détérioration des éclissages électriques, de la corrosion des moteurs, des trucks, des ressorts, etc, ont été évités.

Le kérosène employé est une huile lourde à bon marché coûtant environ 35 centimes le gallon (4 litres environ).

Le téléphone et son application au traitement de la surdité. — Nous lisons dans le *Lancet* du 15 août qu'une première application du téléphone à l'instruction des sourds-muets vient d'être faite par M. le docteur Bertram Thornton, médecin attaché à l'hospice des sourds-muets de Maryate. Les expériences de M. Thornton tendent à démontrer les avantages de l'appareil téléphonique à l'instruction des sourds-muets possédant quelque facilité d'audition et auxquels on cause à l'aide des cornets acoustiques. Ces avantages consistent en ce que : premièrement, comme il est possible de coupler un certain nombre de récepteurs à un transmetteur unique, un seul professeur suffira à instruire tout un groupe d'enfants à la fois ; puis, deuxièmement, le professeur n'ayant plus besoin, comme avec le tube acoustique, de parler très près du transmetteur, les élèves pourront suivre l'expression faciale et le mouvement des lèvres pour faciliter la compréhension.

Pétition contre l'emploi du charbon dans les usines électriques, à Paris. — Dans la séance du 25 juin dernier, M. E. Gilbert annonçait au Conseil Municipal qu'il avait reçu une pétition de nombreux boutiquiers et locataires de la rue de Rivoli, au sujet de la fumée produite par la cheminée de *Pygmalion*, pour la production de l'électricité servant à l'éclairage de ses magasins, etque déjà auparavant, il avait reçu des plaintes motivées par la fumée de la cheminée du Théâtre du Châtelet.

En raison de l'odeur peu agréable de la fumée et surtout des paquets de suie qui, entraînés un peu partout par le vent, vont souiller les étalages, et même jusqu'à pénétrer dans les appartements, il pense qu'il y aurait lieu d'obliger les industriels soit à employer le coke comme combustible, soit à installer l'un des systèmes proposés pour brûler la fumée.

Aussi M. Gilbert proposait-il au Conseil :

D'inviter l'Administration à obliger tous les établissements producteurs d'électricité à supprimer leur fumée par l'un des moyens qu'ils ont à leur disposition.

Proposition qui a été renvoyée à une Commission spéciale.

En raison de l'importance que paraît devoir prendre, à date prochaine, l'application des appareils pour la combustion de la fumée produite par les stations centrales dans l'intérieur des villes, nous ajouterons que déjà plusieurs villes d'Angleterre ont, à ce sujet, imposé des règlements aux directeurs des stations centrales. A Manchester, où cette loi municipale a été appliquée d'une façon rigoureuse à toutes les usines produisant de la fumée, on cite le cas de deux industriels qui, à la suite de nombreuses plaintes, se sont vu condamner à une amende très importante pour l'inobservation des règlements en question.

Parmi les appareils dits fumivores les plus répandus, on cite ceux de Kowitze et Cie, Chuble, Schomburg, Stauss, Kuhn, Tenbrink, etc., dont nous parlerons ultérieurement.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imp. Em. Mauchaussat, 32, Boulevard Vaugirard.

Tome VIII Samedi 26 Septembre 1896 3e Année. — N° 39

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

REMARQUES AU SUJET DES EXPERIENCES DE M. CHRISTIANSEN SUR L'ÉLECTRICITÉ DE CONTACT

L'Éclairage Électrique (t. VII, n° 16, p. 138 et t. VIII n° 27, p. 41), a rendu compte des mémoires de M. Christiansen, parus dans les *Wiedmann's Annalen*, sur l' « Origine de l'électricité de contact ».

Je crains que les expressions employées dans ces mémoires égarent l'opinion sur un point de la Science net, qui me paraît bien acquis, et que les faits d'expériences rapportés par M. Christiansen, semblent en contradiction avec ceux obtenus par d'autres expérimentateurs et avec les miens en particulier, quand au fond il n'y a aucune contradiction; c'est ce point que je voudrais faire ressortir.

L'égaliseur de potentiel dont s'est servi M. Christiansen donne, non pas la différence de potentiel vraie entre le métal liquide qui s'écoule (mercure ou amalgame) et le métal solide qui entoure le jet, s'ils étaient mis au contact, mais bien ce que j'ai appelé la *différence de potentiel apparente* de ces métaux au contact, (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 5e série, t. XXIV, p. 5), c'est à dire la différence de potentiel des couches électriques, qui recouvrent dans l'air, ou le gaz qui les entourent, les deux métaux mis au contact ou réunis par un fil métallique.

Le jet liquide et le métal qui l'entoure forment les armatures d'un condensateur dont le gaz intermédiaire est le diélectrique. Désignons par v_1 le potentiel de la couche électrique qui recouvre le jet de métal liquide et qui se trouve, comme on le sait, à la limite du diélectrique; le métal liquide aura un potentiel différent en général $v_1 + a$ et en désignant par M | C la différence de potentiel entre le métal liquide et les quadrants de l'électromètre correspondants, ces quadrants ont un potentiel V_1, donné par

$$V_1 = v_1 + a + M \mid C. \qquad (1)$$

De même en désignant par v_2, le potentiel de la couche électrique qui recouvre le métal solide, qui forme la seconde armature, par b la différence de potentiel entre cette couche située à la limite du diélectrique et ce métal lui même, enfin par M' | C, la différence de potentiel entre ce métal M' et les quadrants correspondants, le potentiel V_2 de ceux-ci est

$$V_2 = v_2 + b + M' \mid C. \qquad (2)$$

Ce que donne l'électromètre, c'est la différence de potentiel $e = V_1 - V_2$, c'est à dire

$$e = V_1 - V_2 = v_1 - v_2 + a - b + M \mid C - M' \mid C; \quad (3)$$

mais, d'une part, la loi de Volta donne

$$M \mid C - M' \mid C = M \mid C + C \mid M' = M \mid M',$$

M | M' étant la différence de potentiel vraie du métal liquide et du métal solide qui entoure le jet s'ils étaient mis en contact; d'autre part, tant que $v_1 - v_2$ est différent de zéro, la quantité e varie, parce que le jet métallique étant

chargé d'électricité à sa surface emporte en tombant cette électricité; par conséquent lorsque la différence de potentiel e indiquée par l'électromètre se sera fixée à une valeur E, on aura $v_1 - v_2 = 0$, d'où :

$$E = a - b + M \mid M'. \qquad (4)$$

Il est aisé de voir qu'on trouverait exactement la même expression pour la différence de potentiel des couches électriques, qui dans le même gaz recouvriraient les métaux M et M', s'ils étaient en contact par quelques points ou réunis par un fil métallique : la quantité E mesurée par M. Christiansen est donc bien la différence de potentiel apparente.

Du reste, MM. Bichat et Blondlot, d'une part, et M. Gouré de Villemontée d'une autre, qui se sont servi, dans leurs recherches, de l'égaliseur de potentiel à écoulement de Lord Kelvin, ont bien dit qu'ils mesuraient ainsi, non la différence de potentiel vraie au contact des deux conducteurs étudiés, mais leur différence de potentiel apparente.

Je ferai remarquer maintenant que la différence de potentiel vraie M | M' de deux métaux au contact doit être *a priori* complètement indépendante de la nature du gaz qui entoure les métaux mis au contact, ou des altérations physiques ou chimiques que peuvent éprouver les surfaces de ces métaux baignées par le gaz. Les métaux forment, en effet, écran électrique pour la région où ils sont en contact direct l'un avec l'autre ; par conséquent, la différence de potentiel qui existe en passant d'un métal à l'autre, ainsi que la couche électrique double d'Helmholtz, ne peuvent dépendre que de la nature chimique des métaux eux-mêmes.

Au contraire la différence de potentiel apparente E dépend, d'après la relation (4), non seulement de la différence de potentiel vraie M | M' des métaux en contact, mais en outre des termes a et b ; ceux-ci peuvent varier, non seulement avec la nature du gaz qui baignent les surfaces métalliques, mais aussi avec les altérations superficielles que ces gaz font éprouver au métal.

J'ai montré (*loc. cit.*) que lorsque le gaz n'attaque pas chimiquement le métal, E dépendait un peu de la nature du gaz, mais pas d'une façon immédiate ; ce n'était qu'au bout de plusieurs secondes après le changement du gaz ou la raréfaction opérée sur lui, que l'on trouvait une nouvelle valeur stable de E, peu différente du reste d'un gaz à un autre ; le phénomène paraît être dû à l'absorption du gaz par la surface métallique qui en modifie un peu la nature et, par là, fait varier légèrement les termes a et b.

Mais la plus légère altération chimique de la surface modifie profondément la valeur de a ou de b et, par conséquent, de E ; c'est ainsi qu'en plaçant un plateau de cuivre rouge quelques secondes dans l'acide sulfhydrique, de façon à former à sa surface une couche de sulfure de cuivre si mince qu'elle n'altérait en rien l'éclat et la couleur du cuivre, la différence de potentiel apparente entre l'or et le cuivre ainsi traité était très différente de celle qui existait entre l'or et le cuivre pur et la même que si le cuivre était recouvert d'une couche épaisse de sulfure de cuivre (*loc. cit.*).

Ainsi les expériences de M. Christiansen sont tout à fait d'accord avec celles que j'ai faites, il a seize ans ; mais elles ne mesurent pas la différence de potentiel vraie entre les métaux.

Cette dernière mesure ne peut être obtenue par une méthode de condensateurs. J'ai pu pour la première fois, en 1887 (*C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CIV, p. 1099. — *Journ. de Phys.* 2e série t. V. p. 195) démontrer que deux métaux au contact présentent bien réellement une différence de potentiel, ayant trouvé pour la différence de potentiel vraie entre le mercure et l'amalgame de zinc le nombre 0,49 volt; La méthode que j'ai employée pour cela est fondée sur les phénomènes électro-capillaires. Dans un autre mémoire (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. XIX, p. 566) j'ai donné une seconde méthode qui permet d'obtenir les différences de potentiel vraies des divers métaux au contact, et qui confirme le nombre indiqué ci-dessus pour la différence de poten-

tiel vraie entre l'amalgame de zinc et le mercure au contact, Dans ces expériences *les gaz ne jouent aucun rôle*.

Je proteste donc absolument contre l'assertion suivante : « M. Christiansen a montré que la présence de l'oxygène est nécessaire pour qu'on puisse établir une différence de potentiel entre le mercure pur d'une part, les amalgames de zinc, de cadmium, de plomb et d'étain d'autre part » (*Écl. Élect.* t. VIII n° 27 p. 41). Il ne peut être question ici que de différences de potentiel apparentes et non vraies, puisque M. Christiansen n'a mesuré que les premières.

H. PELLAT
Professeur à la Faculté des Sciences

POTENTIELS ÉLECTRIQUES DANS UN LIQUIDE EN MOUVEMENT (¹)

DEUXIÈME PARTIE

Théorie. — Les deux premières questions posées au début sont complétement résolues, la troisième l'est imparfaitement. La liaison des phénomènes étudiés ici avec les autres groupes de phénomènes électriques ne peut être obtenue que par l'invention d'un mécanisme hypothétique équivalent au mécanisme réel au point de vue des résultats.

La découverte et le développement de ce mécanisme hypothétique constituent les théories dont l'examen fera l'objet de la seconde partie de travail.

1° *Théorie de M. Edlund*. — M. Edlund, comme je l'ai indiqué, attribue le développement des forces électromotrices au seul mouvement de l'eau. Les résultats des expériences pour vérifier l'hypothèse de M. Edlund sont négatifs. D'un autre côté, les résultats des expériences entreprises par Maxwell (Électricité et Magnétisme, t. II, chap. VI), par Hertz (ann. de Wied., t. X, 1880, p. 414 et t. XIV, 1881, p. 581) pour découvrir l'influence du mouvement sur les phénomènes électriques sont négatifs, les résultats des expériences de M. Colley (ann. de Wied., t. XVII, 1882, p. 55) sont négatifs ou douteux. La théorie de M. Edlund ne repose sur aucune base positive, ne rattache les phénomènes à aucun autre ordre de phénomènes, cette théorie doit être condamnée.

2° *Théorie de Helmholtz*. — L'hypothèse fondamentale opposée est l'action de la paroi. Toutes les expériences que j'ai rapportées l'imposent, mais ne permettent pas encore de rattacher la grandeur de la force électromotrice observée aux valeurs des constantes de l'expérience. M. Quincke (ann. de Pog., t. CVII, 1859, p. 12 et ann. de Pog., t. CLVIII, 1874, p. 170) reprenant une idée émise antérieurement par Schroder (ann. de Pog., t. CIV, 1841, p. 63) faisait remarquer qu'une couche d'eau comprimée se comporte par rapport à l'eau dans l'état normal comme un corps hétérogène, que l'eau mise dans un tube forme sur la paroi une couche condensée sur laquelle le reste du liquide glisse comme sur un corps de nature différente, que ce déplacement est l'origine des forces électromotrices observées. La même idée était soutenue par M. Elster (ann. de Wied. nouv. série, t. VI, 1879, p. 553). M. Dorn terminait le mémoire publié dans les Ann. de Wied., t. V, 1878, en disant que la question restait pendante de savoir si on doit attribuer la force électromotrice au frottement ou à une action de contact.

Le problème était ainsi posé lorsque Helmholtz proposa une solution dans un mémoire important sur les couches doubles (ann. de Wied., nouv. série, t. VII, 1879, p. 338) quelques mois après les expériences de M. Dorn, par conséquent à une date telle que la théorie ne pouvait avoir eu aucune influence sur la direction des recherches expérimentales.

L'hypothèse fondamentale d'Helmholtz (loc. cit., p. 349) déduite directement des faits

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 12 septembre, p. 49.

observés par M. Quincke est la suivante :

Le liquide en contact avec le verre adhère au verre et ne subit aucun déplacement ([1]). Ce liquide forme une gaîne dans laquelle glisse le reste du liquide assujetti au frottement intérieur. La surface du liquide en contact avec la paroi du verre et cette paroi sont à des états électriques différents. L'électricité localisée dans ces régions forme une couche électrique double, d'épaisseur extrêmement faible sans être négligeable. Le côté de cette couche dans le liquide est positif.

Ces hypothèses posées, Helmholtz considère deux cas :

1er *Cas.* — Le liquide est soumis à la fois à une pression hydraulique et à une force électromotrice agissant en même temps sur le liquide. Si l'on fait abstraction de la pression hydraulique, la force électromotrice détermine aux extrémités de la colonne liquide considérée une différence de potentiel et des forces pondéromotrices qui entraînent la couche liquide située vers le bord et chargée positivement. La section entière du tube, par suite du frottement du liquide prend ce mouvement. Si l'on tient compte maintenant de la différence des pressions hydrauliques deux cas sont possibles :

1° La différence des pressions pousse le liquide dans la même direction que les forces pondéromotrices, les effets s'ajoutent ;

2° La différence de pression entraîne le liquide dans une direction opposée à celle qui est due aux forces pondéromotrices, il en résulte un état stationnaire du liquide, par suite duquel le courant électrique va le long du bord du tube dans le sens de la force électrique et au centre dans le sens de la pression hydrostatique.

([1]) L'adhérence du liquide contre la paroi du tube admise ici par Helmholtz est discutée et justifiée dans le mémoire de Stokes. Effet du frottement intérieur des fluides sur le mouvement des pendules. (Philosophical Transactions of Royal Society of London, vol IV, 2e Partie et collection de mémoires relatifs à la Physique, publiés par la Société Française de Physique. Tome V, p. 292-293).

2e *Cas.* — Le liquide est soumis seulement à une pression hydraulique, aucune force électromotrice n'agit sur le liquide. Dans ce cas, la pression entraîne le liquide et la couche de liquide électrisée située, dans le voisinage de la paroi, à une distance suffisante pour ne pas adhérer à la paroi. Tant que les couches se déplacent avec des vitesses égales parallèles au bord des tubes, elles demeurent dans le même état sous l'action des forces galvaniques, leur équilibre électrique n'est pas modifié. Au delà de l'extrémité du tube les couches sont ou bien séparées du bord par le mouvement de tournoiement ou bien pressées les unes contre les autres, par suite de la diminution de vitesse du courant, si elles demeurent contre le bord. Par suite de ces deux faits, leur charge positive sera totalement ou partiellement soustraite à l'attraction de la couche négative du bord et redeviendra libre.

D'un autre côté, de nouvelles couches s'avancent vers l'entrée du tube et comme le bord est déjà chargé négativement, ces couches empruntent leur électricité positive au reste du liquide et laissent de l'électricité négative. La masse négative accumulée au commencement du tube et la masse positive accumulée au delà de l'extrémité opposée seront de nouveau égalisées en partie par la colonne liquide du tube, en partie par toute autre conductibilité qui leur est offerte. Un courant galvanique se produira donc dans un tel tube. Si aucune dérivation n'existe, une différence de potentiel s'établira entre les extrémités du tube jusqu'à ce qu'il s'écoule par la conductibilité autant d'électricité que la convection des molécules d'eau en produit. Les hypothèses fondamentales qui précèdent, précisent l'origine restée douteuse de la force électromotrice. La traduction analytique de ces mêmes hypothèses permet d'établir une relation entre les différentes données de l'expérience et les lois du phénomène, mais dans le cas seulement de tubes droits, de même diamètre dans toute leur étendue, assez étroits par rapport à la longueur pour que chaque

filet se meuve parallèlement à l'axe, assez long pour que le frottement soit exercé dans toute la longueur et que le régime permanent s'établisse comme il aurait lieu dans un tube indéfini.

I. Le développement a été effectué par Helmholtz (loc. cit. § 4, p. 369 et § 5, p. 372) dans le cas où le liquide est soumis à une pression hydraulique, et où aucune force électromotrice n'agit sur le liquide, cas étudié expérimentalement par MM. Zollner, Edlund, Haga, Clark, Dorn ; la méthode est la suivante, Helmholtz évalue :

1° La quantité d'électricité E_0 entraînée pendant l'unité de temps à travers la section du tube par le courant, par suite de l'existence de la couche double formée à la surface de séparation du verre et du liquide.

2° La quantité E_1 d'électricité qui pendant l'unité de temps, traverse la même section par suite de l'accumulation des charges de signes contraires aux extrémités du tube.

3° Exprime qu'à partir de l'instant où le régime permanent est atteint, les deux quantités E_0 et E_1 sont égales et de signes contraires.

La quantité E_0 est, en désignant par P la différence de pression entre les deux extrémités du tube,

L la longueur du tube,

Q la section du tube,

k^2 la constante de frottement du liquide,

φ_a le potentiel à la surface du liquide d'une couche infiniment mince répartie sur le liquide du côté du verre,

φ_i le potentiel du liquide au milieu du tube la valeur de ce potentiel est celle d'une couche infiniment mince répartie à la surface du liquide du côté du liquide,

$$E_0 = \frac{1}{4\pi}(\varphi_i - \varphi_a)\frac{PQ}{k^2 L}.$$

La valeur de E_1 est, en appelant A la force électromotrice due aux charges accumulées aux deux extrémités du tube σ la résistance spécifique du liquide

$$E_1 = \frac{AQ}{\sigma L}.$$

L'équation exprimant que le régime permanent est atteint, si aucune dérivation n'a lieu est :

$$E_0 + E_1 = 0$$

ou

$$\frac{A}{\sigma} = \frac{P}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a).$$

A est la force électromotrice qui existe aux deux extrémités du tube, on voit que A est indépendant de la grandeur et de la section du tube, proportionnel à la résistance spécifique du liquide, quand la nature de ce liquide n'éprouve aucun changement notable.

Il faut remarquer, comme l'ajoute Helmholtz, que l'équation est établie en supposant que la paroi est formée d'une substance isolante. Toute vérification devra être faite avec un tube isolant et un liquide de résistance connue. Ces deux conditions résument toutes les difficultés de la vérification.

Les mêmes hyppothèses et une analyse semblable permettent de calculer l'intensité du courant qui traverse un fil reliant les électrodes (Helmholtz loc. cit. p. 380) ; en appelant J la quantité d'électricité amenée aux électrodes par le mouvement du liquide, U la vitesse moyenne du liquide, φ_i et φ_a ayant la même signification que précédemment, Helmholtz démontre que

$$J = 2u(\varphi_i - \varphi_a).$$

II.— Le cas inverse de l'entraînement d'un liquide par un courant électrique d'intensité J est traité d'une manière analogue par Helmholtz (loc. cit. p. 351) ; U_1 représentant la quantité totale de liquide traversant la section du tube par seconde, les autres lettres ayant la même signification que précédemment, Helmholtz établit que

$$U_1 = \frac{\sigma J}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a).$$

L'analyse devient très difficile et les données expérimentales sont insuffisantes, lorsque les tubes sont larges. Helmholtz montre les difficultés du problème sur l'exemple suivant : passage d'une masse d'eau d'un tube

large dans un tube relativement étroit. Dans ce cas, l'eau prend, à l'intérieur du tube étroit, sous l'influence du frottement, un mouvement de rotation qui n'existait pas dans le tube large. Les trajectoires de l'élément de volume dans les couches profondes sont des circonférences concentriques dont les centres sont sur l'axe du tube. L'état permanent de rotation du liquide est atteint seulement après un temps variable avec les dimensions et la pression, temps pendant lequel l'eau pénètre plus ou moins pronfondément dans le tube. La durée de la période variable est calculée par Helmholtz sur quelques exemples particuliers (loc. cit, p. 374) relativement très simples. La solution générale du problème ne peut pas être donnée. La forme de l'embouchure et de l'orifice d'écoulement change toutes les conditions du mouvement. Helmholtz rappelle en particulier le cas traité par lui (Monatsber, Berlin Akad. p. 215 1868) et étudié expérimentalement par M. G. Kirchoff (Crell's Journal LXXe p. 289, 1869) écoulement d'un liquide à travers un tube terminé en arête vive. Helmholtz montre la complication du problème : l'eau pénétrant dans le tube forme une colonne que l'on peut regarder comme constituée par un filet plus étroit entouré d'un liquide relativement en repos, les deux parties réagissent ensuite l'une sur l'autre. La conclusion est que la vérification de l'équation indiquée plus haut ne peut être tentée que dans le cas où le tube est très étroit et très long avec des pressions modérées. L'indétermination de cet énoncé est écartée par la condition que le tube employé doit satisfaire à la loi de Poiseulle.

La théorie partage donc la solution du problème en deux cas : 1° Cas des tubes satisfaisant à la loi de Poiseulle. 2° Cas des tubes qui, par leurs dimensions ne satisfont pas à à loi de Poiseulle.

3° *Théorie de M. Lamb.*— Helmholtz suppose que la couche liquide en contact avec la paroi adhère à la paroi, le glissement est nul.

M. Lamb (Philosophical Magazine 5e série, t. 25, an. 1888, p. 52) reprend le même problème, en supposant la résistance opposée par la paroi au mouvement du liquide en contact avec elle, très grande, mais non infinie.

L'effort nécessaire en l'absence de forces électriques superficielles pour produire un glissement d'un centimètre par seconde calculé approximativement par M. Lamb (loc. cit. p. 56) serait 1,4 mégadyne par centimètre carré. Il résulte de ce fait que l'effet du glissement est absolument insensible dans les questions ordinaires d'hydrodynamique et dans les expériences de Poiseulle ; mais le glissement a des effets appréciables dans le cas actuel par suite de la valeur relativement énorme des forces électriques qui agissent à la surface du liquide et l'entraînement à travers le tube.

Les autres hypothèses fondamentales sont, à part cette hypothèse de glissement, les mêmes que les hypothèses d'Helmholtz. En appelant : l le coefficient de glissement,

d la distance entre les plateaux d'un condensateur à air équivalent à celui qui est virtuellement formé par les surfaces opposées des couches doubles répandues sur le liquide et sur la paroi du verre en contact avec le liquide,

E l'excès du potentiel du liquide en contact avec le bord du tube sur le potentiel de la paroi, valeur désignée par Helmholtz par $\varphi_i - \varphi_a$,

P la différence de pression entre les extrémités du tube,

σ la résistance spécifique du liquide,

k^2 la constante de frottement intérieur du liquide,

V la différence de potentiel aux deux extrémités du tube,

M. Lamb (loc. cit. p. 62) démontre que dans le cas où un liquide s'écoule sous pression à travers un tube capillaire, une différence de potentiel V s'établit entre les extrémités et que

$$V = \frac{\sigma P}{4\pi k^2} \frac{l}{d} E.$$

M. Lamb (loc. cit. p. 54) traite le problème inverse de l'entraînement liquide placé dans

un tube capillaire par l'établissement d'un courant électrique traversant le liquide placé dans le tube. Les hypothèses fondamentales étant les mêmes que dans le cas précédent, en appelant

U le flux total de liquide qui traverse la section du tube par seconde,

J l'intensité du courant,

σ, k^2, E les mêmes quantités que plus haut, M. Lamb établit la relation :

$$U = \frac{\sigma J}{4\pi k^2} \frac{l}{d} E.$$

Les équations de M. Lamb diffèrent des équations de Helmholtz seulement par l'introduction du facteur $\frac{l}{d}$. M. Lamb montre que l ne peut pas être égal à d, mais que ces deux quantités sont du même ordre de grandeur et en déduit l'ordre de grandeur de l.

En rapprochant les deux cas étudiés par M. Lamb on voit : 1° dans le premier cas qu'une différence de pression P_1 détermine le passage d'un volume U_1 de liquide à travers la section droite du tube par seconde, un courant d'intensité J_1 et une différence de potentiel V_1 entre les électrodes ; 2° dans le second cas qu'une différence de potentiel V_2 établie entre les électrodes détermine un courant d'intensité J_2, le passage à travers la section droite du tube d'un volume U_2 de liquide par seconde et une différence de pression P_2 entre les réservoirs placés aux extrémités.

M. Lamb (loc. cit. p. 66) déduit des relations établies par l'expérience directe entre P, U, V, J, et de la forme analytique de la fonction l'égalité :

$$P_1 U_2 + V_1 J_2 = P_2 U_1 + V_2 J_1,$$

si les expériences correspondantes aux indices 1 et 2 sont faites avec le même liquide et le même appareil dans l'ordre suivant : 1° sans comprimer le liquide $P_1 = 0$ et en établissant une différence de potentiel constante V_1 entre les extrémités, un courant d'intensité J_1 est produit et détermine l'écoulement du liquide, U d'abord nul prend une valeur U_1. 2° en comprimant le liquide par une différence de pression P_2 sans faire passer de courant $J_2 = 0$ on détermine l'établissement d'une différence de potentiel entre les extrémités V, d'abord nul, acquiert une valeur V_2. L'équation précédente en supposant

$$P_1 = 0 \qquad J_2 = 0$$

est réduite à

$$P_2 U_1 + V_2 J_1 = 0,$$

$$\frac{V_2}{P_2} = -\frac{U_1}{J_1}.$$

Les phénomèmes sont réciproques, autrement dit, peuvent être renversés.

IIIe Partie. — Vérifications de la théorie

Le résultat le moins net des recherches expérimentales est l'origine des forces électromotrices. Les hypothèses fondamentales des théories d'Helmholtz et de M. Lamb sont destinées à suppléer à cette insuffisance des données. Les conséquences analytiques de ces théories dans le cas des tubes étroits sont : 1° Si l'on admet l'adhérence du liquide contre la paroi

$$A = \frac{P\sigma}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a),$$

$$U = \frac{J\sigma}{4\pi k^2}(\varphi_i - \varphi_a).$$

2° Si au contraire on introduit l'hypothèse d'un glissement du liquide contre la paroi, en appelant l le coefficient de glissement, d'après Helmholtz (loc. cit. p. 354) et M. Dorn (Ann. de Wied., t. IX, 1880, p. 527),

$$A = \frac{P\sigma}{4\pi k^2}\left(\varphi_i - \varphi_a + l\frac{\partial\varphi}{\partial N}\right).$$

$$U = \frac{J\sigma}{4\pi k^2}\left(\varphi_i - \varphi_a + l\frac{\partial\varphi}{\partial N}\right).$$

La traduction de ces conclusions analytiques est : 1° Les forces électromotrices produites par l'écoulement d'un même liquide à travers les tubes faits de la même substance, sont indépendantes de la longueur et de la section des tubes. La démonstration expérimentale de cette loi a été l'objet de la première partie de ce travail. La loi est vérifiée avec toute la précision désirable.

2° Les équations renferment un ensemble de termes connus ou accessibles à l'expérience et un ensemble de termes séparément inaccessibles à l'expérience constituant une somme algébrique nommée, par Helmholtz, *moment électrique de la couche double*, et représentée dans les mémoires d'Helmholtz et de M. Dorn par μ, par définition :

$$\mu = \varphi_i - \varphi_a \quad \text{ou} \quad \mu = \varphi_i - \varphi_a + l \frac{\partial \varphi}{\partial N},$$

on a par suite :

$$\mu = \frac{4\pi k^2 A}{P\sigma} = \frac{4\pi k^2}{\sigma} \frac{U}{J}.$$

D'après les équations précédentes, ont voit que si les forces électromotrices sont proportionnelles aux pressions qui déterminent l'écoulement du liquide, lorsqu'un même liquide s'écoule à travers des tubes de même substance, le moment électrique de la couche double est constant. C'est sous cette forme que M. Dorn (Ann. de Wied., t. IX. 1880) a repris la vérification de la théorie.

Les expériences ont été faites : 1° sur des tubes employés depuis longtemps, 2° sur des tubes fraîchement lavés. M. Dorn a constaté que la proportionnalité entre les forces électromotrices et la pression est seulement approchée, a fixé les limites entre lesquelles la proportionnalité existe, a mesuré la force électromotrice A correspondant à une pression p, a calculé la valeur E_{1000} de la force électromotrice correspondant à la pression P_{1000}, les expériences et les calculs étant faits dans les limites où l'exactitude de la loi de proportionnalité avait été vérifiée.

La connaissance de k^2 déduite des observations de M. O. E. Meyer (An. de Wied., t. II, ann. 1877, p. 394), la détermination de σ permettent de calculer la valeur de

$$\frac{4\pi k^2 E_{1000}}{P\sigma} = \mu.$$

Deux séries d'expériences ont été ainsi faites, la résistance de l'eau de la première était environ deux fois plus grande que la résistance de l'eau de la seconde, les valeurs de μ ont été

4,002 et 3,869 daniells

qui diffèrent de 3 pour 100.

La moyenne des deux valeurs est 3,936 daniells, valeur d'accord avec le nombre 3,9346 déduit par Helmholtz (An. de Wied. t. VIII, 1879, p. 361) des expériences de M. Quincke sur l'entraînement de l'eau à travers les tubes capillaires. M. Dorn ajoute que la plus petite valeur trouvée pour μ après que l'écoulement avait duré dix minutes, s'éleva pour la première expérience à 3,650 daniells, pour la seconde à 3,712 daniells (loc. cit. p. 537).

La mesure des intensités des courants permet une seconde vérification analogue à la première. La relation qui lie l'intensité J au moment électrique μ contient la valeur σ, valeur difficile à déterminer. M. Dorn a préféré prendre dans le mémoire d'Helmholtz (loc. cit., t. VII, ann. 1879, p. 380) les équations

$$J = 2u(\varphi_i - \varphi_a),$$
$$J = 2u\left(\varphi_i - \varphi_a + l \frac{\partial \varphi}{\partial N}\right),$$

dans lesquelles J est l'intensité du courant en unités électrostatiques et u la vitesse moyenne du liquide traversant le tube d'écoulement.

M. Dorn évalue en webers d'abord, en unités électrostatiques ensuite, la valeur de l'intensité d'un courant qui, en traversant un galvanomètre dont la sensibilité a été déterminée, produisait une déviation de 1 mm de l'échelle. M. Dorn déduit ensuite de la mesure de la déviation produite par le courant l'intensité du courant en unités électrostatiques, mesure la vitesse d'écoulement en comptant le temps avec un pendule, calcule les valeurs de μ. Ces valeurs ont été (loc. cit., p. 539) :

5,15 4,99 4,57 4,32 daniells

La valeur de μ déduite de la mesure des forces électromotrices était 4,002 daniells. Les valeurs de μ déduites des mesures faites avec l'électromètre sont un peu plus faibles que les valeurs de μ déduites des mesures de l'in-

tensité ; mais il faut remarquer que les substances employées, eau et verre ne sont pas définies et que dans ces conditions, il est impossible d'attendre une concordance plus complète. On peut donc regarder la vérification comme satisfaisante. M. Dorn a constaté, en outre, que toute vérification cesse lorsque les tubes employés ne satisfont pas à la loi de Poiseulle.

La théorie n'a pas pu être développée dans le cas des tubes larges, aucune vérification n'est donc à chercher. Helmholtz montre seulement (loc. cit., p. 381) que les faits observés par M. Edlund, sur des tubes larges, ne peuvent pas infirmer la théorie proposée par lui.

En résumé, la théorie d'Helmholtz relie les faits connus, les interprète, amène à des résultats nouveaux, ce sont là ses avantages, mais il faut ajouter que cette théorie ne rend pas compte des courants électriques dirigés en sens inverse du mouvement du liquide constatés dans quelques expériences de M. Quincke (An. de Pogg, t. CXIII, ann. 1861, p. 513) et M. Dorn (An. de Wied, t. V, 1878, p. 39), ces derniers faits restent à préciser et à expliquer.

Vérification de la réciprocité. — Le second point établi théoriquement est la réciprocité. La vérification expérimentale nécessitait l'emploi d'un appareil dans lequel le même liquide pût être à volonté refoulé à travers un tube capillaire par l'effet d'une pression donnée et soumis à une différence de potentiel donnée établie entre les extrémités du tube.

L'expérience n'a pas été faite avec un tube, elle a été réalisée avec un diaphragme poreux par M. Saxeu (An. de Wied, nouv. série, t. XLVII, 1892, p. 46). L'irrégularité des canaux qui existent dans un diaphragme poreux oblige, pour faire la théorie des effets observés, à regarder les diaphragmes comme un assemblage de canaux capillaires rectilignes. Si l'on admet cette assimilation nécessitée par les difficultés du problème, les expériences de M. Saxeu peuvent être rapprochées des expériences discutées dans cette note. Je me bornerai à énoncer les résultats. M. Saxeu vérifie en employant des dissolutions de sulfate de zinc, de cuivre, de cadmium, que l'équation

$$\frac{V}{P} = \frac{U}{J},$$

dans laquelle les lettres ont la signification indiquée plus haut, est satisfaite.

M. Saxeu ajoute qu'il n'a pu effectuer aucune vérification avec l'eau distillée. Il paraît singulier que la vérification de la formule n'ait pu être faite avec le liquide employé dans les expériences fondamentales de cette théorie, mais il faut remarquer que le nettoyage des diaphragmes poreux est encore plus difficile que celui des tubes, que l'identité des parois est difficile à réaliser, au moment des deux passages inverses du liquide. L'eau est, en outre, un liquide non défini et si le passage de l'eau à travers un tube peut modifier le liquide et le tube, les changements doivent être bien plus grands dans le passage de l'eau à travers un diaphragme. Il est impossible de donner une réponse plus précise.

L'étude que je viens de faire avait pour but de fixer l'état de la question, je me borne à marquer les points établis et je ne peux que signaler les points encore obscurs.

IVe PARTIE. — POTENTIELS ÉLECTRIQUES DANS UN LIQUIDE CONDUCTEUR EN MOUVEMENT

L'eau distillée, l'eau ordinaire, des mélanges d'eau et d'alcool ont été les liquides employés dans toutes les expériences résumées précédemment. Deux déterminations seulement dans tous les mémoires que j'ai lus ont été faites avec des dissolutions salines : la première contenait 3,1 mmg, et la seconde 1,6 mmg de sulfate de cuivre pour 100 gr d'eau distillée.

Les résistances des solutions et les intensités des courants produits par l'écoulement mesurées par M. Dorn (An. de Pogg, t. CLX, ann. 1871, p. 69) sont du même ordre de grandeur que les résistances et les intensités

observées dans les expériences faites avec l'eau.

D'un autre côté les phénomènes de déplacement du mercure par des courants électriques sont signalés depuis fort longtemps. P. Ermann communiquait une observation sur ce sujet à l'Académie de Berlin, en 1808, Poggendorff décrivait en 1867 des phénomènes de même ordre. (An. de Pogg., t. CXXXI, 1867, p. 635).

Ces résultats m'amenèrent à chercher si l'écoulement du mercure ou d'une solution saline à travers un tube effilé peut développer une force électromotrice appréciable entre le liquide du réservoir et le filet sorti du tube; si, *par suite, une correction doit être faite aux nombres trouvés dans la mesure des différences de potentiel par la méthode d'écoulement : 1° au contact de deux liquides, détermination faite par MM. Bichat et Blondlot* (*Journal de Physique*, 2e série, t. II, ann. 1883, p. 533), *2° au contact d'un solide et d'un liquide, 3° au contact de deux liquides, détermination que j'ai indiquées antérieurement* (*Journal de physique*, 2e série, t. IX, ann. 1890, p. 65 et p. 326).

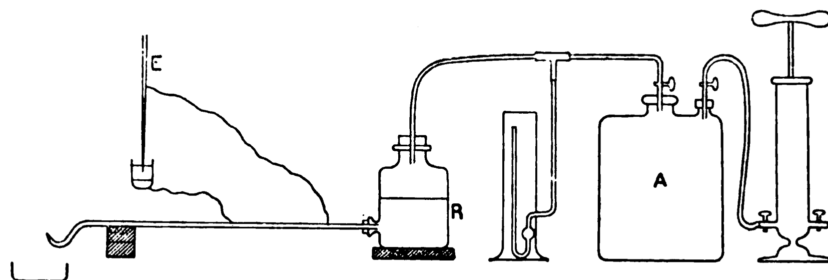


Fig. 6. — Ensemble d'un premier appareil.

A. *Expériences avec mercure.* — L'écoulement (fig. 6) était produit à travers un tube de verre, vertical ou horizontal, effilé à une de ses extrémités et relié à l'autre à un réservoir R, d'où le mercure pouvait être chassé par de l'air comprimé A. Les tubes d'écoulement 1° avaient le même diamètre dans toute leur étendue; 2° présentaient des parties rétrécies vers le milieu ou vers les extrémités (fig. 7).

Les flacons réservoirs et les tubes ont été lavés successivement avec de la potasse, de l'acide sulfurique, de l'eau et séchés par un courant d'air sec et chaud. Le mercure nettoyé avec de l'azotate de mercure a été successivement lavé, desséché avec de l'acide sulfurique et filtré sur des morceaux de potasse caustique. Des fils de platine soudés dans le verre reliaient différents points de la colonne de mercure aux pôles d'un électromètre capillaire E permettant d'apprécier une différence de potentiel de 0,00015 volt. Des tubes de verre paraffinés et des cales de paraffine séparent le réservoir et le tube des appareils employés à la compression de l'air et des parois d'une longue caisse, doublée d'étain, réliée au sol. L'isolement de l'appareil était vérifié avant les expériences.

I. Les électrodes montées toutes deux dans le tube étaient :

1° Séparées par une colonne de même diamètre dans toute son étendue (fig. 6).

Distance entre les électrodes	Diamètre de la colonne de mercure	Vitesses moyennes par minute
520 cm	3 mm	353 cm 68
»	»	660 7
»	»	866 4

2° Séparées par une partie rétrécie :

Distance entre les électrodes	Diamètre de la colonne de mercure	Vitesses moyennes par minute
2 cm	3 mm	301 cm
»	»	351 8
»	»	407
»	»	451
58 cm	»	53 43
»	»	149 34
42 cm	1 mm 5	

3° Séparées par deux parties rétrécies (fig. 7) :

Distance entre les électrodes	Diamètre de la colonne de mercure	Vitesses moyennes par minute	
60 cm	3 mm	155 cm	
»	»	251	
»	»	324	38

II. L'une des électrodes a été montée dans le tube, l'autre dans la partie continue du filet libre.

Résultats : *Dans tous les cas la différence de potentiel a été trouvée nulle.*

B. *Expériences avec solutions salines.* — L'appareil (fig. 8) est formé d'un tube T de 8 mm de diamètre et de 2 à 3 mètres de longueur, effilé à une de ses extrémités et fixé à l'autre à la tubulure inférieure d'un flacon servant de réservoir au liquide. Un robinet de verre R à la base du réservoir permet d'établir ou d'interrompre l'écoulement. Des tubes avec robinets, traversant un bouchon de caoutchouc qui ferme le flacon, mettent le réservoir en communication avec une pompe de compression et avec un manomètre à air libre M. L'appareil entier est isolé sur des cales de paraffine. Les tubes de verre qui relient le flacon à la pompe et au manomètre, les raccords et les mastics sont enduits de paraffine de manière à assurer l'isolement de l'appareil.

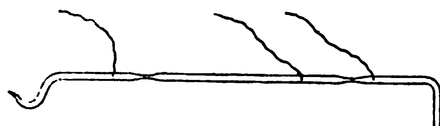


Fig. 7. — Tube modèle

Deux dispositions ont été successivement adoptées ; 1° dans l'une, l'appareil horizontal est placé à l'intérieur d'une longue cuve en zinc, remplie d'eau pour maintenir la température constante, et protégée par des écrans reliés au sol ; 2° dans la seconde, l'appareil est vertical à l'air libre, le réservoir est un flacon de Mariotte, l'écoulement du liquide a lieu sous pression constante.

Les liquides employés ont été des solutions de sulfate de cuivre, de sulfate de zinc, de sulfate de nickel, contenant dix grammes de sel pur dissous dans un litre d'eau distillée. Tous les flacons et tous les tubes ont été lavés successivement avec potasse, acide sulfurique, eau, alcool et séchés avant le montage.

La comparaison des potentiels aux différents points du liquide est faite avec des électrodes du métal entrant dans la composition du sel étudié. L'identité des électrodes au moment de l'immersion et l'égalité des altérations par un séjour plus ou moins prolongé dans le liquide est obtenue en recouvrant d'un dépôt électrolytique (Journal de Physique, III° série, t. II, 1893, p. 213) des fils de platine très fins soudés à l'extrémité de tubes de verre (fig. 9) de manière que la longueur du fil sortant du tube soit seulement quelques millimètres.

La partie libre du fil recouverte d'un dépôt galvanique est maintenue à l'intérieur du tube d'écoulement à l'aide de tubulures latérales ; la longueur immergée reste la même pendant toutes les expériences.

Le morceau du fil qui dépasse la soudure à l'intérieur est noyé dans une goutte de mercure servant à établir les communications avec un électromètre capillaire qui permet d'apprécier une différence de potentiel de 0 volt 00015. L'isolement des fils est assuré par une couche de paraffine placée sur les mastics.

La différence de potentiel entre les électrodes plongées dans le liquide en repos est nulle, lorsque le dépôt électrolytique est préparé depuis vingt-quatre heures et lorsque la durée d'immersion ne dépasse pas trois jours. La différence de potentiel est comprise entre 0 volt 00045 et 0 volt 00075 après une durée d'immersion plus longue dans les solutions.

2° *Expériences.* — L'appareil ayant été monté plusieurs heures ou plusieurs jours avant l'expérience, le flacon réservoir étant rempli de liquide, on ouvre le robinet infé-

rieur, l'immersion des électrodes est produite à quelques secondes d'intervalle. Le tube d'écoulement rempli, on arrête l'écoulement du liquide, on vérifie l'isolement de l'appareil, l'absence de charge, l'identité des électrodes. Ces différentes vérifications sont indispensables. J'ai constaté que la pose et le déplacement d'un tube de caoutchouc à l'extrémité du tube de verre d'écoulement suffisent pour produire des charges qui se propagent à l'intérieur du liquide déterminant entre les électrodes des différences de potentiel considérables.

Ces observations préliminaires terminées, la comparaison des potentiels est faite en maintenant l'écoulement du liquide sous pression constante ·

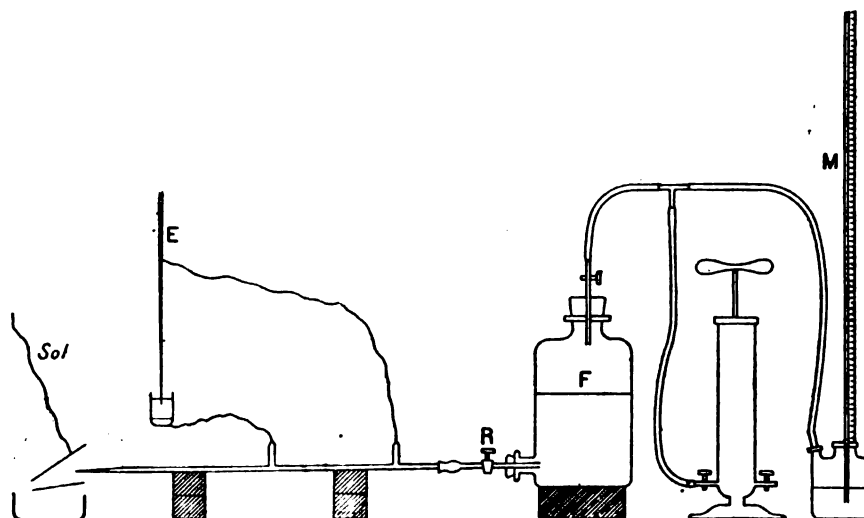


Fig. 8. — Ensemble d'un second appareil.

1° Entre deux points du liquide pris dans le tube d'écoulement ;

2° Entre un point pris dans une région en repos et un point pris dans une région en mouvement ;

3° Entre un point pris dans la colonne liquide à l'extrémité du tube de verre et un point pris dans le filet libre sorti du tube.

La comparaison des potentiels correspondants aux états de repos et de mouvement a été effectuée en alternant les déterminations relatives aux deux états.

I. *Potentiels en deux points situés sur une même colonne liquide en mouvement dans le tube.*

La comparaison a été faite :

1° Entre des électrodes immergées simultanément :

a) immédiatement après l'immersion des électrodes ;

b) quelques heures et quelques jours après l'immersion, les électrodes étant maintenues dans le liquide pendant l'intervalle des expériences ;

2° Entre des électrodes plongées dans le liquide à des époques différentes.

Les distances entre les électrodes ont été :

a) dans l'appareil horizontal :

127 cm 101 cm 82 cm 81 cm 80 cm,

la vitesse d'écoulement du liquide a été 33,5 mm par seconde ;

b) dans l'appareil vertical,

les distances entre les électrodes ont été .

195 cm 115 cm 40 cm,

les vitesses d'écoulement :

323 mm 3 394 mm 225 mm 3 155 mm 3 175 mm
par seconde.

Résultats. — 1° *Les différences de potentiel : 1° Lorsque le liquide était immobile ; 2° Lorsque le liquide était en mouvement ont été trouvées les mêmes dans les expériences faites avec les solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc. La durée des périodes de repos et de mouvement variant de trente secondes à six minutes.*

Ces différences sont nulles, lorsque les dépôts électrolytiques sont préparés vingt-quatre heures environ avant l'immersion et lorsque la durée d'immersion ne dépasse pas trois jours. La différence de potentiel était comprise entre o volt 00045 et o volt 00075, lorsque la durée d'immersion était plus longue.

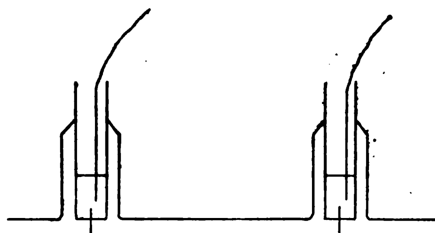


Fig. 9. — Électrodes, indication du montage.

2° Les altérations chimiques, le passage des bulles d'air entraînées par les solutions, par suite d'un abaissement de niveau dans les flacons réservoirs, ou d'une fissure dans les mastics qui retiennent les électrodes, produisent entre les électrodes des différences de potentiel relativement très grandes et toujours variables avec l'état de repos ou de mouvement du liquide.

3° Des modifications très promptes des sels ou des électrodes de nickel n'ont pas permis d'obtenir avec la solution de sulfate de nickel des résultats concordants pendant des périodes alternatives de repos ou de mouvement supérieures à trois secondes.

II. *Comparaison des potentiels de deux points pris l'un dans une région en repos, l'autre dans une région en mouvement.*

L'une des électrodes est montée sur le tube d'écoulement comme dans le cas précédent, l'autre est placée dans un tube plus large, fermé à la base, rempli de solution et communiquant à la partie supérieure par un orifice très étroit avec la solution du réservoir.

Le liquide qui entoure la dernière électrode est immobile.

Les résultats ont été les mêmes que dans le cas précédent.

Dans les deux séries d'expériences avec l'appareil horizontal, le réservoir était relié au tube d'écoulement par un tube de caoutchouc de 52 cm de long. Les résultats indiqués sont donc indépendants de la substance dont les tubes intermédiaires sont formés.

III. *Comparaison des potentiels entre un point pris dans le tube d'écoulement et un point pris dans le filet libre.*

Les expériences ont été faites avec l'appareil horizontal entouré d'air, isolé, et avec une solution de sulfate de cuivre ; la pression du liquide dans le réservoir maintenue constante pendant chaque expérience a été comprise dans la série des déterminations entre 20 cm d'eau et trois atmosphères.

Le liquide comprimé entre le réservoir et l'orifice du tube d'écoulement avait dans ce tube une vitesse moyenne moindre que dans le filet libre. Les vitesses moyennes par seconde ont été comprises, avec un premier orifice, entre les limites correspondantes suivantes :

0,496 mm dans le tube et 400 mm dans le filet libre, et 1,526 mm dans le tube et 518,68 mm dans le filet libre ;

avec un second orifice entre :

5,16 mm dans le tube d'écoulement et 220,4 mm dans le filet libre, et 31,4 mm dans le tube d'écoulement et 1 250 mm dans le filet libre.

Le filet liquide était lancé devant un écran de papier noir, on pouvait ainsi déterminer dans chaque cas la longueur de la partie continue. Un large étui en cuivre en communi-

cation avec le sol préservait le liquide des effets d'influence, des ouvertures permettaient de placer les électrodes dans la partie continue du filet à différentes distances de l'orifice. Les distances des électrodes à l'orifice du tube dans la région continue du filet libre ont été comprises entre :

o mm et 100 mm avec le premier orifice ;

o mm et 20 mm avec le second.

La distance de l'électrode fixe du tube à l'orifice était 40 cm.

Le défaut d'identité qui aurait pu résulter d'une différence de séjour des électrodes dans le liquide était évité en mouillant les électrodes simultanément et en maintenant les électrodes plongées dans le sulfate de cuivre pendant l'intervalle des expériences.

Les expériences appartiennent à deux groupes : 1° L'électrode du filet est un fil de platine très fin, cuivré, tendu sur un cadre de cuivre ou d'ébonite, ou libre à une de ses extrémités. Le fil placé dans la partie continue du filet, à des distances différentes de l'orifice, intercepte une fraction très petite de la section du filet, la perte de force vive est négligeable.

Dans ce cas, *la différence de potentiel entre l'électrode du tube et l'électrode du filet est nulle quelles que soient les vitesses du liquide et la distance de l'électrode du filet libre à l'orifice.*

2° L'électrode placée dans le filet libre est une lame cuivrée. Les effets observés ont été au premier abord très différents de ceux que l'on avait obtenus avec un fil. Lorsque la lame est placée perpendiculairement à l'axe du filet et lorsque le filet vient se briser sur elle, on observe très souvent une déviation du ménisque variable avec la pression sous laquelle l'écoulement est produit. En présentant au jet une lame épaisse cuivrée placée à 50 cm de l'orifice, les déviations correspondantes aux différentes pressions ont été :

Pression dans le réservoir	Déviations du ménisque
195 mm	o div 25
385	o 75
585	1
685	1 5

Les déplacements faibles du ménisque ont lieu progressivement et non instantanément comme il arrive lorsqu'on introduit une différence de potentiel donnée entre les pôles de l'électromètre : 1° Si la distance de la lame à l'orifice est constante, et si la lame est perpendiculaire à l'axe du filet, les augmentations de pression déterminent généralement la rentrée du mercure dans la pointe de l'électromètre ; l'électrode du tube se comporte alors comme le pôle zinc d'un élément Daniell, l'électrode du filet comme le pôle cuivre ; les diminutions de pression produisent un effet inverse. En comparant ces faits aux résultats de M. Bouty sur la production des forces électromotrices dans un fil de cuivre dont les extrémités sont maintenues dans des dissolutions de sulfate de cuivre à des températures différentes (*Journal de physique*, 1re série, t. IX, 1880, p. 229), on constate que l'électrode du filet libre se comporte par rapport à l'électrode du tube, comme l'électrode plongée dans la solution chaude par rapport à l'électrode plongée dans la solution froide.

2° Dans les mêmes conditions de distance et d'orientation de la lame par rapport au filet, la force électromotrice entre les électrodes est 1° d'autant plus grande que la pression est plus grande, la vitesse du jet et, par suite, la perte de force vive plus grande. 2° d'autant plus faible que l'angle formé par l'axe du filet avec la lame est plus petite et que, par suite, la perte de force vive est plus faible.

3° Si l'écoulement est produit sous pression constante et si la lame est perpendiculaire à l'axe du filet, la force électromotrice est d'au-plus grande que l'électrode du filet libre est placée plus près de l'orifice et par suite que la perte de force vive est plus grande.

L'analyse précédente conduit à attribuer les forces électromotrices à une origine thermique, une évaluation plus précise de la quantité de chaleur dégagée oblige à renoncer à cette interprétation. Si en supposant le jet liquide lancé contre une électrode pesant un gramme, pendant une minute, avec une

vitesse de 518 mm par seconde, en supposant, en outre, la perte de force vive totale, toute la chaleur dégagée dans le choc absorbée par l'électrode du filet, on calcule l'échauffement de l'électrode du filet, on trouve : 1° que l'élévation de température de cette électrode est 0,000695 degré. 2° que d'après les résultats de M. Bouty (loc. cit.) le mercure doit rentrer dans le tube de l'électromètre de 0,0018 du micromètre. Or les déviations observée sont bien lieu dans le sens indiqué, mais ces déviations atteignent 1,5 division ou 2 divisions, valeur qui correspondrait à une élévation de température mille fois plus grande. Il est donc impossible d'attribuer la déviation observée à l'échauffement produit par la perte de force vive, et si cette cause intervient, l'effet en est négligeable dans le cas actuel.

L'interprétation exacte m'a été suggérée par les deux remarques suivantes :

1° Les déviations du ménisque sont d'autant plus étendues que les variations de pression sont plus brusques. 2° L'entraînement accidentel des bulles d'air auprès des électrodes dans le tube détermine des déplacements considérables du ménisque. Lorsque l'électrode du filet est une plaque de un à deux centimètres carrés, cette lame constitue une plage sur laquelle le liquide s'étend par les augmentations de pression et dont il se retire pendant les diminutions de pression. Par suite de ces mouvements, le contact de l'air produit des altérations chimiques très variables. Dans ces conditions, les déviations du ménisque sont observables. En présentant au filet des plaques partiellement recouvertes de paraffine, de manière à limiter la région exposée au liquide, les déviations diminuent, mais la paraffine complique les résultats. En recevant le jet sur des disques cuivrés de 9 mm de diamètre que le liquide recouvre entièrement après l'écrasement de la veine, tout déplacement cesse, lorsque la pression et par suite la vitesse dans le filet varie de 700 mm à 2 000 mm. *Les forces électromotrices entre les électrodes sont donc nulles, lorsque l'électrode du filet est une lame perpendiculaire à l'axe du filet de dimensions assez restreintes pour que l'étendue de la lame recouverte par le liquide, après l'écrasement de la veine, soit toujours la même.*

Conclusions : Les conclusions relatives au problème posé sont : *La différence de potentiel entre deux points d'un liquide conducteur qui s'écoule d'un réservoir isolé à travers un tube est nulle, tant que ces points sont dans la région continue formée par le liquide. Le mouvement du liquide, le glissement contre la paroi, le passage à travers l'orifice de sortie, ne produisent aucune force électromotrice appréciable.*

Aucune correction n'est à faire aux nombres obtenus dans les déterminations faites par la méthode d'écoulement.

G. Gouré de Villemontée.

ÉLECTROMÈTRES

THÉORIE GÉNÉRALE DES ÉLECTROMÈTRES A QUADRANTS

Les électromètres sont des instruments basés sur les actions *électrostatiques*, ils indiquent les *différences de potentiel* entre plusieurs points, qu'il y ait ou non courant entre ces points.

Tout système dans lequel la variation des différences de potentiel produit une variation de la capacité électrique est capable de servir d'électromètre ; cependant les appareils les plus employés sont dérivés de l'électromètre à quadrants de Kelvin.

Considérons un système de 4 *quadrants*, A, A', B et B', (fig 1), reliés deux à deux, et d'une *aiguille* C mobile autour d'un axe vertical ; si nous établissons entre les quadrants A et l'aiguille C, une différence de potentiel x, de même entre B et C une autre différence y, l'énergie électrique totale du système pourra être représentée par

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2,$$

en appelant A, B et C des facteurs dépendant de l'appareil.

Si, dans ces conditions, nous imprimons à l'aiguille C, un déplacement angulaire α, nous savons que le travail des forces électriques doit être égal et opposé au travail mécanique dépensé pour produire ce mouvement; réciproquement, toute variation de x et y produit une variation de l'énergie électrique qui doit se traduire par un travail mécanique équivalent.

L'aiguille C étant suspendue par un fil dont le couple de torsion est $W_1\alpha$, le travail

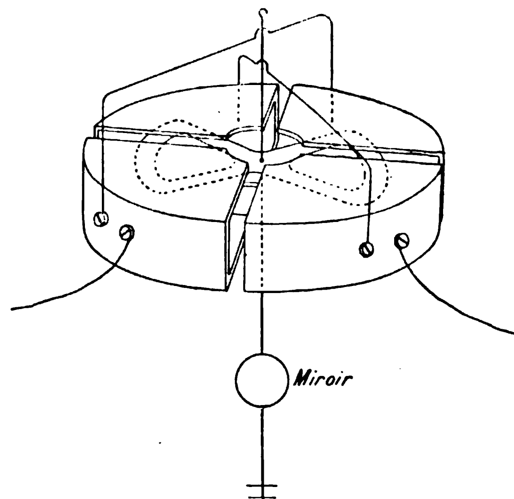


Fig. 1.

mécanique dépensé pour produire le déplacement α a pour valeur :

$$\frac{W_1\alpha^2}{2}.$$

Nous pouvons donc écrire

$$W_1\alpha = \frac{d}{d\alpha}(A x^2 + B x y + c y^2); \qquad (1)$$

les coefficients A, B et C sont des fonctions de α, nous pouvons les représenter par leur développement en série en nous bornant aux deux premières puissances :

$$A = A_0 + A_1\alpha + A_2\frac{\alpha^2}{2},$$

et nous obtenons :

$$W_1\alpha = A_1x^2 + B_1xy + C_1y^2 + (A_2x^2 + B_2xy + C_2y^2)\alpha \quad (2)$$

La symétrie exige que dans les électromètres, la déviation α ne change pas de grandeur mais de signe seulement quand on substitue l'une à l'autre les différences de potentiel x et y, cette condition ne peut être réalisée que si nous avons

$$B_1 = 0$$
$$-A_1 = C_1$$
$$A_2 = C_2,$$

L'équation (2) se réduit alors à :

$$W_1\alpha = C_1(y^2 - x^2) + \alpha[A_2(x^2 + y^2) + B_2xy], \quad (3)$$

les forces électriques qui agissent sur l'aiguille se composent d'un terme indépendant de α et d'un autre terme fonction de α, ce dernier tend donc à ramener l'aiguille au zéro. M. Gouy l'a appelé *couple directeur électrique*. Cette théorie ne diffère de celle de M. Gouy que par la substitution des différences de potentiel aux potentiels eux-mêmes, ce qui réduit les variables à deux et simplifie beaucoup l'exposé; cette substitution nous a été indiquée par M. Potier.

Si nous faisons osciller l'équipage d'un électromètre, la durée des oscillations sera déterminée par le couple total

$$\left[W_1 - [A_2(x^2 + y^2) + B_2xy]\right]\alpha.$$

Pour x et $y = 0$, le couple électrique s'annule et on a

$$T_0 = \pi\sqrt{\frac{K}{W_1}}.$$

Pour $x = y$ les électromètres vraiment symétriques, dans lesquels la boîte des quadrants est assez bien fermée pour éviter toute action des corps extérieurs sur l'équipage, donnent une durée d'oscillation

$$T''_0 = \pi\sqrt{\frac{K}{W_1 - (2A_2 + B_2)y^2}},$$

qui ne diffère pas de T_0 ; il faut en conclure que le facteur $2A_2 + B_2$ est nul ou négligeable, c'est à dire

$$2A_2 + B_2 = 0.$$

L'équation (3) se réduit donc finalement à

$$W_1\alpha = C_1(y^2 - x^2) + A_2(x - y)^2\alpha. \qquad (4)$$

Le coefficient A_2 est bien réel ; quand on fait $y = -x$, la déviation est nulle, mais les oscillations diffèrent de T_0, on a :

$$T'_0 = \pi\sqrt{\frac{K}{W_1 - 4A_2 y^2}},$$

or, l'expérience montre que T'_0 est toujours plus petit que T_0, donc A_2 est négatif.

Le coefficient C_1 a un sens bien précis : il représente la variation de capacité de l'aiguille correspondant à un déplacement égal à l'unité.

L'angle de déviation a pour valeur :

$$\alpha = \frac{C_1(y^2 - x^2)}{W_1 - A_2(x - y)^2}. \qquad (5)$$

Si dans (5) nous négligeons A_2 et si nous faisons $x = V_A - V_C$ et $y = V_B - V_C$, V_A, V_B et V_C étant les potentiels des quadrants et de l'aiguille, nous aurons l'équation de Maxwell,

$$\alpha = \frac{2C_1(V_A - V_B)\left(V_C - \frac{V_B + V_A}{2}\right)}{W_1}.$$

Cette équation classique est incomplète, puisqu'elle ne tient pas compte du couple directeur électrique dont l'importance est cependant capitale.

L'équation (5) renferme trois coefficients à déterminer, mais il faut remarquer que la mesure de W_1 n'est pas indispensable. En effet posons :

$$M = \frac{-A_2}{W_1};$$

l'angle α étant très petit, nous pouvons confondre la tangente et l'arc et écrire, en appelant D la distance entre l'échelle et le miroir, et d la déviation :

$$d = 2D\alpha;$$

posons encore :

$$N = 2D\frac{C_1}{W_1},$$

l'équation (5) devient :

$$d = \frac{N(y_2\, x^2)}{(1 + M - y^2x)}. \qquad (6)$$

Nous n'avons plus ici que deux coefficients à déterminer ; faisons comme ci-dessus $y = -x$, et observons la durée T'_0 de l'oscillation, ainsi que la même valeur T_0 quand y et x sont égales à o ; nous en tirons M :

$$M = \frac{1}{4y_1^2}\frac{T_0^2 - T_0'^2}{T_0'^2} \qquad (7)$$

Nous pouvons obtenir N de deux façons différentes : soit en faisant comme dans la fig. (2 II) :

$$x = y_1 - E,$$
$$y = -(y_1 + E),$$

$$N = \frac{1 + 4My_1^2}{4y_1E}d, \qquad (8)$$

ou bien $x = 0$, $y = E$, fig. (2 III) :

$$N = \frac{1 + ME^2}{E^2}d. \qquad (9)$$

Les coefficients M et N ainsi déterminés se rapportent aux conditions spéciales de l'expérience. Si une cause quelconque vient à modifier ces conditions, il faut changer les valeurs de M et N en les déterminant à nouveau. Remarquons que le coefficient M est indépendant de la distance D de l'échelle au miroir, tandis que N est directement proportionnel à cette distance. Lorsqu'on modifie la sensibilité de l'électromètre en faisant varier W_1 soit par l'écartement du bifilaire ou en augmentant le poids de l'aiguille, soit en changeant le fil de suspension, les valeurs de M et N varient simultanément, *mais leur rapport reste constant* ; cette dernière considération présente un certain intérêt comme nous le verrons au paragraphe suivant.

MODES D'EMPLOI DES ÉLECTROMÈTRES.

Si dans un électromètre à quadrants, on fait $x = 0$ et y égal à la différence de potentiel à mesurer, la méthode n'emploie pas de source électrique étrangère à celle de la mesure ; elle est dite : *idiostatique* ou *homostatique*. Lorsqu'au contraire on ajoute à la différence de potentiel à mesurer une f. é. m. étrangère, on dit que la méthode est *hétérostatique*.

Dans les premiers électromètres à quadrants l'aiguille C (fig. 2, I) était chargée à un potentiel élevé, y, au moyen d'une petite machine statique appelée *replenisher*, puis on reliait les quadrants A et B à la différence de potentiel à mesurer E ; dans ces conditions, si on a soin de relier les deux sources E et y par un point commun, on a $x = y \pm E$ et l'équation (5) devient :

$$d = \frac{N(\mp 2yE - E^2)}{1 + ME^2}. \qquad (10)$$

Les déviations, dans ce cas, ne sont pas proportionnelles aux différences de potentiel à mesurer ; cependant, lorsque y est très grand par rapport à E, on peut négliger ce défaut si M est assez petit pour que $1 + ME^2$ ne diffère pas sensiblement de 1. Cette condition est remplie, en ce qui concerne le rapport de y à E, par l'emploi du replenisher qui donne des valeurs de y très élevées, mais l'usage en est assez peu commode et ne s'est pas introduit couramment dans les laboratoires industriels. Il faut noter à l'avantage de cette disposition, qu'elle permet d'accroître presque indéfiniment la sensibilité de l'électromètre, puisqu'il suffit d'augmenter y.

La seconde disposition hétérostatique due à M. Mascart, (fig. 2, II), est d'un emploi plus commode, elle donne des déviations proportionnelles, mais sa sensibilité est limitée ; elle consiste à relier les quadrants A et B au moyen d'une pile de f. é. m. $2y_1$ et à placer la différence de potentiel E à mesurer, entre l'aiguille d'une part et le *milieu électrique* de la pile d'autre part.

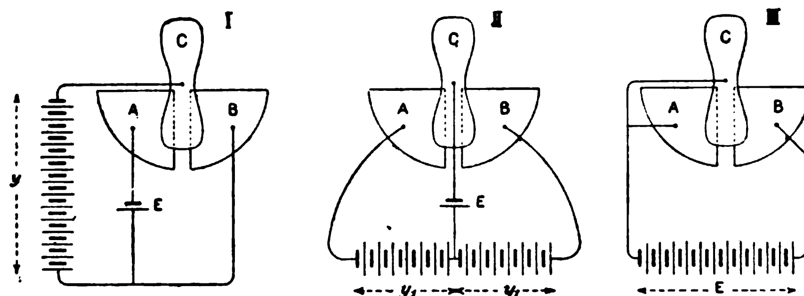


Fig. 2

Les différences de potentiel x et y sont :

$$x = y_1 \pm E,$$
$$y = -y_1 \mp E,$$

et la déviation d a pour valeur :

$$d = \frac{4Ny_1E}{1 + 4y^2M}.$$

Lorsque l'électromètre est bien réglé et lorsque les deux moitiés de la pile ont bien des forces électromotrices égales, les déviations sont rigoureusement symétriques de part et d'autre du zéro lorsqu'on change le signe de E ; elles sont également proportionnelles à E.

L'effet du couple directeur électrique est ici de limiter la sensibilité. En effet l'accroissement de la f. é. m. y_1 augmente la déviation d, tant que

$$y_1 < \sqrt{\frac{1}{4M}},$$

au delà, la déviation décroît. Il y a donc intérêt, quand la plus grande sensibilité est nécessaire, de donner à y_1 la valeur correspondante au maximum ; cette valeur y_m se déduit de (7) :

$$y_m = y_1 \frac{T_0'}{\sqrt{T_0^2 - T_0'^2}} \qquad (12)$$

On peut la calculer tout aussi facilement quand on connaît M. A la sensibilité maximum, la déviation d est donnée très simplement par

$$d = 2Ny_1E.$$

Dans les deux dispositions précédentes, il y a lieu de tenir compte de la différence de potentiel au contact des métaux différents qui entrent dans la construction de l'appareil. Les quadrants A et B sont généralement formés du même métal, mais l'aiguille C qui est le plus souvent en aluminium et platine présente avec les quadrants une différence de potentiel qui peut atteindre près de 0,5 volt ; toutes les fois que la charge de l'aiguille est faible, il y a lieu d'en tenir compte.

L'élimination de cette cause d'erreur se fait très simplement en renversant le signe de la charge de l'aiguille, et en prenant la moyenne des déviations obtenues.

La méthode idiostatique (fig. 2, III) est par excellence la méthode industrielle ; elle consiste à relier une des paires de quadrants à l'aiguille et à un des pôles de la f. é. m. à mesurer, l'autre quadrant étant relié à l'autre pôle. Dans ces conditions, on a $x = 0$ et $y = E$

$$d = \frac{NE^2}{1 + ME^2} \qquad (13)$$

Les déviations ne sont proportionnelles aux carrés des différences de potentiel que dans le cas où le couple directeur électrique est nul ou négligeable. L'erreur de proportionnalité croît, pour un électromètre donné, avec la grandeur de la déviation d ; cette erreur est exprimée en valeur relative, par le facteur ME^2, soit $\frac{1}{n}$ une valeur déterminée ; de celui-ci nous tirons de (13) :

$$\frac{1}{n} = \frac{Md}{N - Md}, \qquad (14)$$

dans cette formule ne figure pas la valeur de E, par conséquent *quelle que soit la sensibilité obtenue par la variation du couple, l'erreur de proportionnalité reste constante pour une même déviation,* elle ne dépend que du rapport des coefficients M et N et non de leur valeur absolue.

La méthode idiostatique possède au point de vue pratique le grand avantage de s'appliquer aussi bien aux courants alternatifs qu'aux courants continus ; en effet, on voit que la déviation dépend seulement du carré de la différence de potentiel mesurée, par conséquent son sens dépend uniquement du sens des connexions effectuées entre les quadrants et l'aiguille.

Le couple directeur électrique peut agir d'une façon fâcheuse dans la mesure des courants alternatifs ; quelle que soit la *forme* du courant mesuré, le numérateur de l'équation (13) donne toujours le carré de la f. é. m. efficace, mais le dénominateur varie avec cette même forme et l'erreur peut être assez grande quand M est élevé et quand la f. é. m. *moyenne* est faible par rapport à sa valeur maximum.

La grandeur de d est affectée par la f. é. m. de contact, lorsque la différence de potentiel est continue et assez faible, mais en changeant le signe de E et en prenant la moyenne des déviations obtenues, on élimine cette erreur ; cette élimination se fait toute seule quand on mesure des courants alternatifs puisque le signe de E change périodiquement et rapidement.

Jusqu'ici nous avons toujours considéré les électromètres comme instruments de déviation, mais on peut aussi les employer comme appareils de zéro, en équilibrant la force déviante par la torsion du fil de suspension. En ramenant toujours l'aiguille au même point, on n'a pas à tenir compte du couple directeur électrique et les torsions θ sont simplement exprimées par

$$\theta = N_1 (y^2 - x^2). \qquad (15)$$

Les connexions peuvent être faites par l'une quelconque des trois méthodes précédentes, il en résulte l'avantage très réel que les torsions sont proportionnelles à E ou E^2 sans correction, autre que pour les f. é. m. de contact des différentes parties de l'instrument.

Malgré ses avantages la méthode de torsion est peu employée ; cela tient à la faiblesse extrême des forces mises en jeu dans les électromètres. En Amérique, M. Carhart en a réalisé un modèle dans lequel le fil de torsion est une fibre de quartz, le zéro est contrôlé à l'aide d'un miroir et d'une échelle pour assu-

rer l'exactitude ; sous cette forme, l'appareil bien que très exact est d'un maniement beaucoup trop délicat pour la pratique courante.

PRINCIPAUX MODÈLES EMPLOYÉS

La figure 3 représente un modèle d'électromètre symétrique à quadrants dérivé de celui de Kelvin. Dans cet instrument, l'aiguille formée de 2 portions circulaires concentriques, *a* et *b* (fig. 4), est placée dans la boîte cylindrique formée par les quadrants de telle sorte que les 4 bras à 90° l'un de l'autre, qui portent les parties circulaires, sont chacun au milieu des quadrants correspondants ; un petit déplacement angulaire de l'aiguille se traduit donc par le passage d'un segment de celle-ci, d'un quadrant à l'autre ; ce segment ayant toujours la même valeur pour le même angle et ayant son centre de gravité toujours à la même distance de l'axe de rotation, il en résulte une grande constance du coefficient N. Le même résultat ne peut être atteint avec la forme II (fig. 4), que pour de très petits angles.

Comme C_1 dont il dérive le coefficient N est proportionnel à la *variation de capacité* du condensateur formé par l'aiguille et les quadrants, par conséquent ce facteur doit augmenter quand la distance entre les plans de l'aiguille et des quadrants diminue.

Si les surfaces étaient très grandes, nous pourrions écrire en appelant l la distance entre l'aiguille et la base du cylindre, σ la portion de l'aiguille qui passe d'un quadrant dans l'autre pour un déplacement égal à l'unité :

$$N' = \frac{\sigma}{l}.$$

à une constante près ; or dans l'appareil en question, l'aiguille est suspendue entre les deux surfaces des quadrants ; soit L l'intervalle laissé libre, moins l'épaisseur de l'aiguille elle-même,

$$N'' = \frac{\sigma}{l} + \frac{\sigma}{L - l} = \frac{\sigma L}{L l - l^2}.$$

Le facteur N″ qui ne diffère de N que par un coefficient, passe par un minimum pour $l = \frac{L}{2}$; c'est à ce point qu'il faut amener l'aiguille pour obtenir des résultats toujours concordants ; toutefois, on peut, sauf quelques restrictions que nous verrons plus loin, approcher l'aiguille d'une des surfaces pour augmenter la sensibilité de l'instrument.

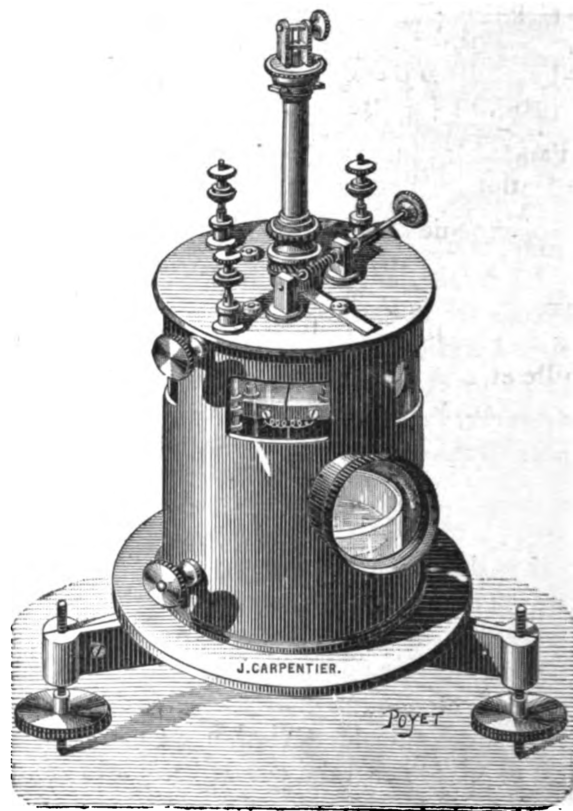


Fig. 3.

Les quadrants sont portés par des colonnes de verre fixées au couvercle et l'aiguille est portée par un bifilaire en fil de cocon dont les 2 extrémités sont attachées à la partie supérieure à un treuil qui permet le réglage en hauteur ; une vis à pas opposés, ou un système de rainures spéciales, que l'on fait mouvoir au moyen d'un bouton moleté placé au dessous du treuil, permet de régler l'écartement supérieur des fils du bifilaire. L'aiguille est traversée à son centre et perpendiculairement à son plan par une tige de platine munie d'un crochet recourbé que l'on passe

dans la boucle du bifilaire ; la largeur de ce crochet qui détermine l'écartement inférieur des fils doit être aussi faible que possible pour les électromètres très sensibles, et plus ou moins large lorsqu'on veut une sensibilité moindre ; enfin le poids de l'équipage doit être également très faible pour obtenir une grande sensibilité.

La partie inférieure de la tige verticale de l'aiguille est munie de deux petites traverses de platine qui plongent dans l'acide sulfurique renfermé dans le cristallisoir et servent à produire l'amortissement.

L'acide a pour fonction, outre l'amortissement, de dessécher la cage pour assurer l'isolement, ainsi que d'établir la communication électrique entre l'aiguille et la borne correspondante du couvercle de l'appareil ; à cet effet cette borne porte un fil de platine qui vient également plonger dans l'acide.

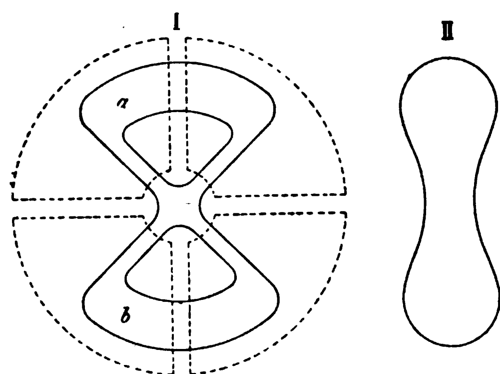


Fig. 4.

Les bornes du couvercle sont au nombre de trois, deux pour les paires de quadrants et une pour l'aiguille. Elles sont tenues par des tubes de verre à l'intérieur de la cage et la tige métallique qui porte chacune d'elles passe dans le couvercle par une ouverture assez large pour éviter tout contact ; de cette façon, le support en verre est toujours maintenu dans l'atmosphère sèche de la cage ; un petit chapeau monté à frottement doux sur la tige peut s'abaisser jusqu'à fermer l'ouverture en mettant la tige en contact avec le couvercle, de telle sorte que l'on peut fermer complètement la cage lorsqu'on ne s'en sert pas.

L'équipage étant suspendu par un bifilaire, le couple W, dépend de la force exercée dans le sens vertical ; si l'aiguille est exactement centrée, les actions électrostatiques sont égales en bas comme en haut, la force agissant sur le bifilaire est simplement le poids de l'équipage, elle est indépendante de la charge des quadrants ; au contraire, si l'aiguille est plus rapprochée d'une des surfaces de la boîte des quadrants que de l'autre, les actions électrostatiques verticales ne sont plus égales et le bifilaire est tendu par une force qui est fonction des potentiels ; il y a là une cause d'erreur qui peut être très grande lorsque le poids de l'aiguille est faible. Cette action perturbatrice est encore plus grande dans les électromètres où l'aiguille est simplement placée au dessus des quatre secteurs plans.

Dans certains électromètres, l'aiguille est suspendue par un fil métallique de grosseur appropriée à la sensibilité cherchée ; ce fil sert aussi à établir la communication électrique avec l'aiguille ; il faut alors isoler la colonne qui porte la suspension et on peut se dispenser de faire plonger la tige dans l'acide; on évite ainsi les déplacements de zéro, dus à des causes à peu prés inconnues, qui se produisent presque toujours avec l'acide. L'amortissement peut être obtenu en faisant les secteurs en acier trempé et aimanté et en les plaçant de telle sorte que les courants induits dans la masse de l'aiguille produisent l'amortissement ; cette disposition a été adoptée dans l'électromètre de Curie.

Edelmann de Munich a remplacé l'aiguille et les quadrants plans par des surfaces cylindriques. Dans l'électromètre apériodique Carpentier, (fig. 5) cette disposition a été complétée par l'adjonction d'un aimant analogue à celui des galvanomètres d'Arsonval ; l'aiguille a à peu près la forme du cadre de cet instrument, mais les surfaces verticales sont cylindriques et exactement de rotation autour de l'axe ; le noyau de fer doux a été divisé en quatre secteurs ; une enveloppe ex-

térieure en laiton, également divisée, forme avec les secteurs du noyau, les deux paires de quadrants ; le cadre mobile est suspendu entre deux fils métalliques tendus dans le prolongement l'un de l'autre. On a pu obtenir

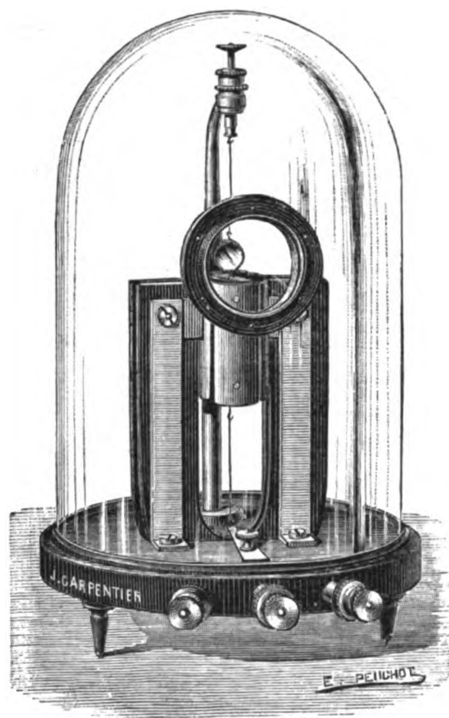


Fig. 5.

de cette manière un électromètre peu sensible mais bien amorti et d'un usage très commode pour les applications industrielles.

MM. Blondlot et Curie ont réalisé un électromètre assez différent (fig. 6 et 7) qui peut dans certains cas rendre des services; il se compose d'une aiguille *circulaire*, dont la surface, coupée suivant un diamètre, est formée de deux parties isolées ; les quadrants sont remplacés par deux surfaces circulaires également coupées en deux parties isolées ; l'aiguille, suspendue par deux fils métalliques dans le prolongement l'un de l'autre, est placée entre les surfaces des quadrants, de telle sorte qu'au repos la ligne de séparation des quadrants est perpendiculaire à celle de l'aiguille. Chaque fil communique avec un des secteurs de l'aiguille qu'il relie à la borne correspondante.

Par suite de la grande surface des secteurs de l'aiguille, il n'y a pas de couple directeur électrique ; la théorie appliquée à cet instrument donne, tant que les lignes de séparation des quadrants et de l'aiguille forment un angle voisin de 90° :

$$d = \frac{N^2 x y}{W_1}. \qquad (16)$$

x représente ici la différence de potentiel entre un secteur des quadrants et un secteur de l'aiguille A — C ; y la même valeur pour les autres secteurs B — D.

Cette disposition permet de mesurer, par une seule lecture, deux différences de potentiel absolument indépendantes l'une de l'autre, tandis que l'électromètre à quadrants ordinaire exige qu'il y ait un point commun aux deux sources de f. é. m. Si l'on fait x proportionnelle à l'intensité du courant dans un circuit, y proportionnelle à la différence de potentiel aux bornes de ce même circuit, le produit xy représentera la *puissance* dépensée dans le circuit ; de cette application vient le nom de wattmètre électrostatique donné à cet instrument.

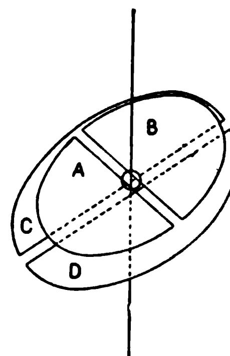


Fig. 6.

Réglage des électromètres.

Quel que soit le modèle employé, il est important de s'assurer tout d'abord que la partie mobile est bien centrée sur sa suspension.

Dans les électromètres à aiguille plane, il faut, avant de placer celle-ci dans l'instrument, vérifier si son plan est bien perpendiculaire à l'axe de rotation et si le miroir est orienté convenablement par rapport à la fenêtre de la cage par laquelle doivent passer les

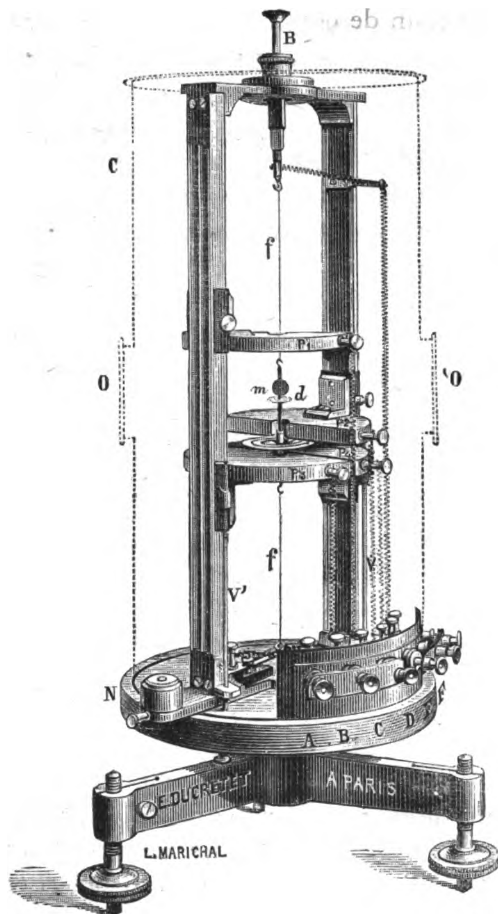


Fig. 7.

rayons incident et réfléchi, lorsque la bissectrice de l'aiguille coïncide exactement avec un plan de séparation des quadrants ; quand cette position n'est pas réalisée, on l'obtient facilement en faisant tourner l'aiguille sur sa tige ; cette vérification est capitale ; un électromètre ne peut pas être symétrique si la condition n'est pas remplie.

L'aiguille vérifiée est mise en place en enlevant un des quadrants, accrochée, s'il y a lieu à son bifilaire et l'instrument remonté. On a eu soin d'abord de placer le vase de verre contenant l'acide sulfurique. L'acide employé doit être aussi concentré que possible, mais *non fumant*, pour ne pas corroder les parties métalliques de l'instrument. Il faut mettre assez d'acide dans le vase pour que la partie inférieure de la tige de l'aiguille vienne plonger dedans, lorsque celui-ci sert à établir la communication et à produire l'amortissement, mais il ne faut pas en mettre trop, surtout si l'électromètre doit rester monté pendant un temps assez long ; en effet, par suite de l'absorption de la vapeur d'eau atmosphérique, l'acide foisonne et peut déborder.

La cage métallique de l'électromètre doit toujours porter des ouvertures fermées par du verre, de façon à permettre l'examen des différentes parties sans rien démonter, mais ces ouvertures doivent être réduites au strict nécessaire pour éviter l'influence des corps voisins.

Au moyen du treuil du bifilaire ou du rappel, on règle d'abord la hauteur de l'aiguille, c'est à dire qu'on la place à égale distance entre les 2 plans des quadrants ; le réglage est facilité dans l'électromètre Mascart (fig. 3) par l'un des quadrants qui peut être écarté des autres; il suffit de regarder dans l'espace libre pour régler cette position.

Le centrage se fait au moyen des vis calantes; on amène d'abord la tige verticale de l'aiguille dans un des plans de séparation des quadrants, en visant dans ce plan et en agissant sur deux des vis, puis on l'amène de même dans l'autre plan à l'aide de la troisième vis ; ce réglage se fait très rapidement lorsqu'une des vis calantes est située dans un de ces plans ; malheureusement cette condition est rarement remplie et il faut procéder par tâtonnements successifs.

Ce réglage terminé, on amène l'aiguille à une position symétrique, ou à peu près, à la séparation des quadrants en tournant la colonne qui porte la suspension ; souvent une vis tangente permet de faire ce mouvement avec une très grande précision, mais l'œil est insuffisant pour déterminer la symétrie par-

faite et il faut avoir recours à des moyens plus précis.

Les équations (5) et (6) indiquent que la déviation d doit être nulle quand les différences de potentiels entre l'aiguille et chacun des quadrants sont égales et de signe contraire; on se sert de cette propriété pour régler la symétrie de l'équipage par rapport aux quadrants.

Réalisons le montage de la figure 2 II, en faisant $E = o$; l'aiguille qui était précédemment au même potentiel que les quadrants ne doit pas se déplacer quand on met ces derniers en relation avec la pile; cependant, grâce à la f. é. m. de contact, E n'est jamais nul; il se produit donc une petite déviation, même quand le réglage de la symétrie est parfait, mais cette déviation *change de signe et non de grandeur* quand on renverse le sens des potentiels des quadrants. Quand cette déviation n'est pas la même dans un sens que dans l'autre, il faut tourner l'aiguille dans la direction de la plus grande déviation, jusqu'à obtenir l'égalité. Le dernier réglage est délicat et doit être fait avec la vis de rappel.

Pour donner à ce réglage toute la précision qu'il comporte, il faut que les différences de potentiel soient bien égales entre l'aiguille et chacun des quadrants; ce résultat est rarement atteint en employant des piles à circuit ouvert; il vaut mieux fermer celles-ci sur une résistance assez élevée pourqu'elles ne polarisent pas trop et relier les quadrants aux extrémités de la résistance, l'aiguille étant reliée au milieu; on a ainsi toujours l'égalité absolue des potentiels en A et B. Cette disposition est d'ailleurs la seule à employer dans la méthode de M. Mascart, lorsqu'on veut s'affranchir des déplacements de zéro dus à la variation des forces électromotrices des piles.

Dans certains électromètres, un des quadrants peut se déplacer parallèlement à lui-même en suivant la direction d'un rayon; on peut en l'approchant ou l'éloignant corriger les petits défauts de symétrie. Cette correction ne convient pas pour les mesures précises; en effet l'écartement des quadrants modifie beaucoup le coefficient M qui augmente rapidement avec lui. On obtient toujours la symétrie parfaite par le réglage de l'aiguille, il est vrai que le réglage est un peu plus long.

Il est très important lorsque l'électromètre est sensible, de le soustraire aux influences électriques extérieures; on y arrive facilement en reliant la cage métallique avec l'une des trois parties A, B et C et avec la terre.

L'électromètre une fois mis en place et réglé, doit être vérifié au point de vue de l'isolement des quadrants et de l'aiguille, entre eux et avec le sol. On peut facilement procéder ainsi : ayant une pile de f. é. m. convenable pour donner par la méthode *idiostatique*, une déviation de toute la longueur de l'échelle (cette pile peut être la pile de charge elle-même), on relie un des quadrants à l'un des pôles; l'autre quadrant, l'aiguille et l'autre pôle de la pile étant tous à la terre, (fig 2 III), l'électromètre dévie d'une longueur d; à ce moment on coupe la communication de B avec la pile, en ayant bien soin de ne pas toucher la borne B au moment de la rupture; le quadrant doit rester chargé et l'aiguille doit revenir très lentement à zéro.

La première opération nous a indiqué l'isolement de B, en reliant ensuite B et C à la terre, on vérifie celui de A et en reliant A seul à la terre, on constate l'isolement de B et C, mais comme on connait celui de B, on peut en déduire celui de C.

Il n'est pas possible de donner d'indications précises sur le temps minimum de retour qu'il faut exiger; il est évident que pour des mesures de courants alternatifs par exemple, il n'y a aucun intérêt à exiger que l'appareil garde sa charge plusieurs heures; dans ce cas, l'essai d'isolement a surtout pour but de s'assurer qu'il n'existe aucune fuite importante, et quand bien même l'aiguille se décharge en quelques minutes, on peut se servir de l'instrument d'une manière efficace. Au contraire pour mesurer des isolements, il est nécessaire

que l'isolement propre de l'appareil soit très élevé, il faut alors que la charge se conserve à peu près invariable pendant plusieurs heures.

Un isolement très parfait ne peut être obtenu qu'après avoir monté soigneusement l'instrument en essuyant avec un linge sec et chaud, les colonnes isolantes de l'appareil et après quelques jours seulement, lorsque l'acide a convenablement desséché l'intérieur de l'électromètre.

Quand un électromètre est destiné à servir pour la méthode *hétérostatique*, avec une pile de charge suffisante pour réparer les pertes des quadrants, on peut se dispenser de vérifier l'isolement de ceux-ci ; on se contente alors de charger l'aiguille en la reliant pendant un instant à l'un des quadrants, puis en l'isolant sans lui enlever sa charge, on observe alors la diminution lente de la déviation qui indique la valeur plus ou moins grande de l'isolement.

En général la capacité électrostatique des diverses parties d'un électromètre est très petite; il en résulte que pour obtenir une perte de charge très faible, il faut un isolement très considérable, dont la mesure directe est presque impossible; le meilleur moyen d'exprimer la valeur de cet isolement, consiste à mesurer le temps nécessaire à la perte d'une fraction connue de la charge : ainsi, un électromètre dont l'aiguille perd la moitié de sa charge en 1 heure, est mieux isolé pratiquement qu'un autre qui perd la même fraction en trois quarts d'heure, alors que la *résistance d'isolement* est peut être beaucoup plus élevée dans le second cas, mais la capacité électrostatique plus faible.

Nous pouvons prendre comme exemple les observations suivantes relevées sur un électromètre Mascart :

Distance de l'échelle au miroir = 1 360 divisions (136 cm).

Durée des oscillations amorties T, amplitudes a_1 et a_n pour n oscillations et décrément logarithmique λ; les quadrants et l'aiguille étant au même potentiel :

T	a_1	a_n	n	λ
14,6	106	22,5	2	1,55
15	265	56,2	2	1,55

La moyenne de ces valeurs donne T_0, oscillation non amortie

$$T_0 = 13,3 \text{ secondes.}$$

Les mêmes facteurs relevés lorsque les différences de potentiel x et y sont égales et de signe contraire, $y = 95$ volts :

T	a_1	a_n	n	λ
9	303,5	47,5	3	0,93
8,8	251	39,5	3	0,92
8,6	255,3	40	3	0,92

La moyenne donne

$$T_0' = 8,46 \text{ secondes.}$$

Les écarts très sensibles constatés dans la mesure de T tiennent à la présence de l'acide qui rend les oscillations assez irrégulières.

Le même électromètre employé par la méthode idiostatique a donné, en alternant le sens de la f. é. m. et la liaison de l'aiguille avec les quadrants :

$$E = 10 \text{ volts} \quad d = -35,5 \quad -38,5 \quad +34,5 \quad +38$$

la moyenne pour 10 volts est $d = 36,6$:

Avec :

$$E = 20 \text{ volts} \quad d = +148,5 \quad +141,5 \quad -148 \quad -142$$

$$\text{moyenne } d = 145.$$

De T_0 et T'_0, l'équation (7) nous permet de tirer $M = 40,7 \times 10^{-6}$.

De (9) nous tirons $N = 0,3674$ pour $E = 10$ volts et $N = 0,3684$ pour 20 volts, soit en moyenne

$$N = 0,368.$$

Ces deux coefficients nous permettent de connaître absolument les conditions de fonctionnement de l'électromètre essayé ; c'est ainsi que nous voyons que par la méthode idiostatique, l'erreur de proportionnalité atteindra

1 pour 100 dès que la déviation sera égale à 89,1. D'autre part, nous savons que la plus grande sensibilité par la méthode de charge des quadrants sera atteinte pour $y_m = 78,3$ volts c'est à dire avec une pile donnant 156,6 volts ; dans ces conditions, un volt donne une déviation de 57,6.

On peut obtenir une sensibilité différente par l'écartement ou le rapprochement du bifilaire ; l'appareil essayé a donné comme limites extrêmes, les quadrants et l'aiguille étant au même potentiel :

T	a_1	a_n	n	λ	T_0
21	277	31	2	2.19	18,1
6,2	2,6	196	2	0,70	6,04

Nous savons que M et N sont tous deux en raison inverse du couple W_1, par conséquent proportionnels à T_0^2, ce qui nous permet de voir que ces coefficients deviendront au maximum de sensibilité :

$$M = 75,5 \times 10^{-6},$$
$$N = 0,681,$$

pour la méthode de charge des quadrants, nous obtiendrons donc :

$y_m = 57,6$ volts et pour 1 volt $d = 78,4$ mm;

au contraire, au minimum de sensibilité :

$$M = 8,39 \times 10^{-6}$$
$$N = 0,0758$$

$y_m = 173$ volts et pour 1 volt $d = 26,2$ mm.

Ces chiffres mettent bien en évidence l'influence très gênante du couple directeur électrique sur la sensibilité de l'électromètre.

H. Armagnat.

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Statistiques d'exploitation des tramways électriques, en France.

Nous avons eu dernièrement sous les yeux une brochure publiée par la Société Thomson-Houston sur la traction électrique ; nous y avons relevé les chiffres suivants, qui sont d'intérêt général et qui prouvent combien le public reçoit de services de la traction électrique.

Lignes du Havre. — Ce réseau, long de 12 km, a été inauguré en 1894 ; le tarif y est de 10 et 15 centimes par place. Pendant l'exercice 1893-1894, le nombre de voyageurs transportés avait été de 5 099 116 et les recettes de 733 952,60 fr ; la traction était faite exclusivement par des chevaux. Pendant l'exercice suivant, 1894-1895, la traction électrique ayant été adoptée, le nombre de voyageurs atteint 8 670 227 et les recettes 1 055 355,45 fr.

L'augmentation du nombre de voyageurs a donc été de 70 pour 100 et l'augmentation des recettes de 43,6 pour 100, coïncidant avec une réduction de 0,144 fr à 0,122 fr par voyageur, par suite de l'abaissement des tarifs.

Le nombre de voyageurs est de 722 000 par kilomètre et par an, avec une recette kilométrique de 87 000 fr.

Ligne de la place Bellecour à Oullins (Lyon). — Longueur 6 km.

	Voyageurs transportés	Recettes
Traction animale (1894)......	1 293 775	140 172 fr
» électrique (1895)....	1 836 640	240 914 »

L'augmentation du nombre de voyageurs est donc de 43 pour 100 et l'augmentation des recettes de 71 pour 100 ; ce dernier chiffre qui semble à première vue anormal provient de ce que les voyageurs à long parcours sur cette ligne ont été relativement beaucoup plus nombreux.

Lignes de la Société anonyme « Les tramways bruxellois », à Bruxelles. — Réseau moitié urbain et moitié suburbain.

	Voyageurs transportés	Recettes
Traction animale..........	4 360 311	711 655,80 fr
» électrique........	7 172 124	1 161 114,25 «

Augmentation du nombre de voyageurs, 64,5 pour 100 ;

Augmentation des recettes, 63 pour 100.

Ainsi donc, 25 voitures sur 12 km de lignes urbaines transportent, au Havre, 23 700 voyageurs par jour. De Lyon à Oullins, avec 8 voitures, le chiffre correspondant est de 5 032.

Tableau I

COMPAGNIE DES TRAMWAYS DE ROUEN

Recettes de la semaine du 3 au 9 Mai 1896

Dates	Maromme	Darnétal	Sotteville	Jardin des Plantes	Chartreux	Quevilly	Rue Verte	Lyons la Forêt	Circulaire	Quatre Mares	Totaux	Recettes correspondantes en 1895	Voitures en service		Temps
													Electriques	Remorquées	
3 Mai	1 477,55	1 008.95	802,75	733, »	440,75	836,20	801,80	»	789,35	30,90	6 917,25	3 796.70	46	14	Couvert et froid
4 »	723,60	543,15	501,65	399,05	267,45	446.55	617,90	»	533.35	10,65	4 043,35	2 311.50	43	1	»
5 »	677,80	504.60	465,45	392,05	234,75	416,35	593,55	»	533,70	10,15	3 828,40	2 212,85	43	1	Beau
6 »	591,20	496,95	440,65	331,80	230,10	359.20	540.20	»	472,35	12,15	3 474,60	1 977,85	43	1	»
7 »	756,90	527,95	524,75	498,45	277,75	415,05	671 05	»	612,25	21,45	4 305,60	2 416.40	43	1	»
8 »	698,75	501,95	508,15	415,95	272,15	435,40	667,90	»	594,20	10,30	4 104.75	2 254,05	43	1	»
9 »	630,05	501.20	455,70	378,55	239,55	390,70	583,30	»	568 85	11,25	3 759,15	2 013,15	43	1	»
Totaux	5 555,85	4080,75	3 699,10	3 148,85	1 962,50	3 299.45	4475,70	»	4 104,05	106,85	30433,10	16982,50	304	20	»

N. B. — La ligne de Quatre Mares est encore à traction animale.

Tableau II

COMPAGNIE DES TRAMWAYS DE ROUEN

Semaine du Dimanche 3 Mai au Samedi 9 Mai 1895 [1]

ANALYSE DES COMPTES DU TRAFIC

Désignation des lignes	Voitures en services			Voyageurs			kilomètres		Recettes				
	Total des journées		Moyenne par jour	Totaux	Moyenne par jour	Moyenne par km voitures	Parcourus par les voitures	Moyenne des km parcourus chaque jour	Totales	Moyenne par jour	Moyenne par journée de voiture	Moyenne par km de voiture	Moyenne par voyageur
	Electriques	Remorquées											
Maronne........	51	2	7.57	36 348	5 192	4,21	8 630	1 233	5 555,85	793,69	104,85	0,6437	0,1527
Darnétal........	49	»	7	32 366	4 6:4	4,92	6 580	940	4 080,75	582,96	83.28	0,5138	0,1260
Sotteville.......	28	»	4	28 702	4 100	7,51	3 871	553	3 699,10	528,45	132,11	0,9556	0,1289
Jardin des Plantes	35	5	5,71	28 784	4 1:2	7,24	3 975	568	3 148,85	449,83	78.80	0,7920	0,1094
Chartreux	28	»	4	18 714	2 673	5,50	3 402	486	1 692,50	280,36	70,09	0,5768	0,1050
Quevilly........	29	4	4,71	27 133	3 876	5,87	4 622	660	3 299.45	47:,35	100,07	0.7141	0,1216
Rue Verte.......	42	»	6	40 805	5 830	7,37	5 537	791	4 475,70	639,39	106,56	0,8084	0,1097
Lyons la Foret ..	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Circulaire.......	42	2	6,29	37 487	5 355	6,80	5 510	787	4 104,05	586,30	93,21	0,7450	0,1095
Quatre Mares ...	»	7	1	1 110	159	1,54	721	103	106,85	15,27	15.27	0,1482	0,1000
Totaux	304	20	46,28	251 449	35 921	5,87	42 848	6 121	30433.10	4 347,60	93,94	0,7102	0,1210

N. B. — La ligne de Quatre Mares est encore à traction animale.

[1] Observation. — Semaine d'ouverture de l'exposition.

La ligne d'Oullins est une ligne de banlieue, desservant une petite ville avec un parcours sur lequel la population est très peu dense; son rendement est évidemment inférieur à celui des réseaux complètement urbains.

Pour établir le rendement de ces derniers, on peut citer les résultats du réseau de Rouen, long de 32 km.

Les tableaux suivants, I et II, résument les détails de l'exploitation pour une semaine.

Le réseau a été mis en service le 1er mars 1896 et depuis l'ouverture des lignes, l'accroissement du trafic ne s'est pas ralenti.

L'augmentation du nombre de voyageurs est de 80 pour 100. Sur la ligne circulaire, le nombre des voyageurs a quintuplé.

Les tarifs sont de 0,10 fr en seconde classe et de 0,15 fr en première; l'horaire varie de 6 à 10 minutes, suivant les lignes.

Ainsi, avec 43 voitures de 40 places, sans impériale, circulant sur 32 km de voies, on a transporté en moyenne 35 900 voyageurs par jour dans une ville de 100 000 âmes; la période de l'année est celle que l'on prend habituellement pour moyenne du transport annuel, mais il faut remarquer qu'elle correspond aussi à une circonstance extraordinaire : l'ouverture de l'Exposition de la ville de Rouen.

Une voiture fait 132 fr de recettes journalières avec un prix moyen de 0,1289 fr et 106 fr avec un prix moyen de 0,1097 fr.

Nous voyons aussi, par les tableaux ci-dessus, que dans les deux journées de la Pentecôte et du lundi (24 et 25 mai 1896), on a atteint le chiffre de 74 746 voyageurs avec 45 voitures automotrices et 19 voitures remorquées, soit 1 160 voyageurs par voiture et 11,45 voyageurs par voiture-kilomètre.

	Nombre de voyageurs	Recettes	Nombre de voitures	
Pentecôte.	67 701	8 806,95	45 autom.	19 remorq.
Lundi.....	74 746	9 823,40	45 »	19 »

Dans les lignes desservant l'intérieur de la ville, la rue Verte, par exemple, la moyenne des voyageurs transportés par jour et par voiture est de 970, soit 7,37 par voiture-kilomètre, avec un horaire de départ de 6 minutes et une vitesse commerciale de 9 km à l'heure.

G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Polarisation et résistance des piles, par F. Streintz (1)

Soient π la f. é. m. d'une pile, a la f. é. m. de polarisation d'un voltamètre placé dans le même circuit, dont la résistance totale est ρ. Entre ces quantités existe la relation :

$$\pi = a + \rho i.$$

Il est impossible de déterminer par l'expérience les grandeurs π et ρ séparément. Si on veut conserver la loi d'Ohm ou plutôt son expression analytique, il faut substituer à π une fonction de l'intensité $\Phi(i)$ dont la forme est d'ailleurs inconnue. L'auteur s'est proposé de démontrer expérimentalement qu'aucune méthode pour mesurer la polarisation pendant la durée de l'électrolyse n'est en effet à l'abri des critiques.

Soit P la f. é. m. d'une pile



$$P = Zn \mid Zn\,SO^4 \mid H^2SO^4 \mid M,$$

M désignant le métal dont on veut étudier la polarisation.

Si cette pile est introduite dans un circuit avec une autre f. é. m. Δ, le métal M se polarisera positivement ou négativement suivant le signe de $P + \Delta$. Soient p_o et p_H les valeurs de ces f. é. m. de polarisation, I l'intensité du courant, R la résistance des parties métalliques du circuit, r celle de la pile, K la différence de potentiel aux pôles de celle-ci :

Si P est de même sens que Δ, ou si P et Δ étant de sens contraire P est $> \Delta$, on a :

$$(P \pm \Delta) - p_H = I(r + R),$$

ou

$$P - p_H = Ir + K_H.$$

(1) *Wied. Ann.*, t. LVII, p. 711.

Ces formules supposent que la lame de zinc ne se polarise pas dans les sels de même métal et que la résistance de la source Δ est négligeable.

Si au contraire, P et Δ sont de sens opposé et $\Delta > P$, on aura :

$$(\Delta - P) - p_0 = I(r + R),$$
$$P + p_0 = K_0 - I r.$$

Pour déterminer la valeur de la polarisation, il faut donc mesurer simultanément l'intensité, la résitance et la différence de potentiel aux pôles.

K se mesure à l'aide d'un électromètre à quadrants, I est obtenu directement ou calculé d'après les valeurs de K, Δ et R. r est mesuré en faisant traverser la pile polarisée par des courants d'induction.

La différence de potentiel Δ est prise en deux points A et C d'un fil de constantan que parcourt le courant d'un ou deux accumulateurs; l'une des prises est fixe, à l'extrémité du fil; l'autre est constituée par un contact glissant. Les courants d'induction destinés à mesurer la résistance de la pile traversent l'une des bobines g d'un galvanomètre différentiel, une résistance ρ, la pile B et aboutissent en A et C. L'autre bobine g du galvanomètre est parcourue par un courant indépendant, qui sert à compenser l'action du courant permanent qui traverse la première.

La pile P est construite comme un élément Bunsen; seulement le métal M au lieu de plonger directement dans le vase poreux, se trouve dans un verre de lampe, fermé à sa partie inférieure par du papier parchemin; au dessus de ce papier on a placé une gelée de silicate de sodium et d'acide sulfurique et versé par dessus de l'acide étendu où baigne le métal : c'est ce verre qui est entré dans le vase poreux.

Les courants d'induction proviennent d'un inducteur formé des deux moitiés d'une bobine de galvanomètre de résistances à peu près égales, le courant primaire est fourni par des piles sèches.

La bobine g du galvanomètre différentiel est à gros fil avec peu de tours, l'autre g' à fil fin avec un grand nombre de tours ; pour produire la compensation on introduit dans le circuit de g' une pile sèche de 1 à 7 éléments et une résistance étalonnée pouvant varier de 1 à 110 000 ohms, d'ohm en ohm.— La résistance ρ renferme 1000 ohms et peut varier par 0,1 d'ohm.

La résistance intérieure r de la pile se déduit de l'affaiblissement qu'éprouve le courant d'induction en la traversant. Après chaque expérience, la pile retirée du circuit et le

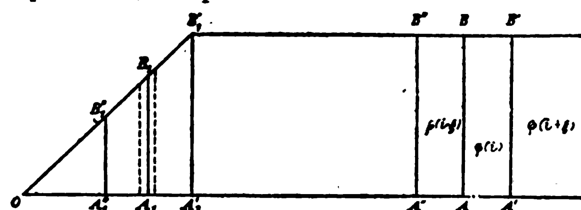


Fig. 1.

circuit des accumulateurs et celui de la bobine g' coupés, on règle l'appareil de manière que le galvanomètre donne la même déviation qu'auparavant, en augmentant la résistance ρ. En faisant plusieurs mesures avec des valeurs différentes de ρ, on peut calculer r d'après les résultats de ces mesures.

1. — En prenant pour métal M du zinc, baigné dans le sulfate du zinc, on vérifie que le métal ne se polarise pas sensiblement : ce qui justifie le calcul fait ci-dessus.

2. — *Polarisation produite par un courant induit.* — Un courant induit lancé à travers la pile P en circuit fermé, augmente ou diminue le dégagement de gaz à l'électrode M suivant qu'il est de même sens que le courant permanent ou de sens contraire : il en résulte un changement dans l'état de polarisation de la pile et au lieu de $\pi = \Phi(i)$, il faut écrire

$$\pi + \eta = \Phi(i + \zeta),$$

ζ étant l'intensité du courant induit polarisant, η la f. é. m. de polarisation ; dans certaines limites l'influence de ζ dépend du rapport ζ/i. Par exemple de nombreuses expériences ont démontré qu'en circuit ouvert

la polarisation croissait proportionnellement à la f. é. m. polarisante jusqu'à un certain maximum et ensuite ne varie plus sensiblement. La variation serait dans ce cas représentée par une droite OB_1' et une droite $B_1'B'$ (fig 1). Quand le maximum est atteint, la polarisation est représentée pour une certaine intensité i par une ordonnée A B. Cette valeur ne peut être rigoureusement déterminée par l'expérience ; car le courant induit donne suivant sa direction A'B' ou A"B", les distances AA' et AA" variant avec l'intensité i; si le courant donne la même déviation galvanométrique dans un sens et dans l'autre, AA' = AA" et on peut admettre que A B représente l'état de la pile pour l'intensité i. Mais on voit tout de suite qu'il n'en sera pas de même dans la région variable OB'_1 ; les deux ordonnées $A'_1 B'_1$ et $A''_1 B''_1$ étant différentes il faudrait faire tendre vers O la f. é. m. d'induction pour qu'elles fussent voisines de leur moyenne arithmétique.

D'autre part si on lance le courant induit à travers la pile quand le courant permanent est nul ou très faible, on constate que ce courant induit est plus ou moins étouffé ; il faudrait attribuer une résistance de plusieurs milliers d'ohms à la pile pour expliquer cette faiblesse du courant. Elle tient plutôt à ce que les premières bulles de gaz dégagées forment à la surface de l'électrode un condensateur qui retient l'électricité : en fait, cet affaiblissement du courant induit disparaît quand on platine l'électrode. Comme le courant induit n'a aucun effet sur l'électromètre relié aux pôles de la pile, c'est seulement sur la résistance apparente qu'influe r_i. Suivant le sens de la f. é. m. d'induction, la résistance aux électrodes augmente avec elle, ou reste stationnaire, ce qui se comprend de suite à l'inspection de la figure 1. La résistance apparente totale r croît avec l'intensité du courant permanent, mais si R devient grand (polarisation cathodique) ou petit (polarisation anodique), vis à vis de Δ, I croît brusquement et r tombe à une valeur minima.

Ces phénomènes pourraient apporter des perturbations dans les mesures de résistance faites par la méthode de F. Kohlrausch, quand l'électrolyse de la dissolution donne naissance à des gaz ; il y a donc lieu d'employer, comme le recommande Kohlrausch. des électrodes platinées.

L'auteur donne ensuite plusieurs séries de résultats numériques.

Pour des électrodes de platine poli, polarisées par l'hydrogène, il a trouvé que la polarisation variait à peu près comme la f. é. m. polarisante. Ainsi la f. é. m. P étant 1,590 volt, et Δ variant de — 1,632 volt à 0,716 volt, la polarisation varie de 1,632 à 0,718. Les premières bulles d'hydrogène apparaissent quand Δ = 0,615 et à partir de ce moment, la polarisation reste à peu près constante. Avec les électrodes en platine platiné, Φ ayant varié de — 1,590 à + 0,207, la polarisation a varié de 1,590 à 0,656 : elle continue à décroître un peu quand les bulles d'hydrogène ont paru.

La polarisation anodique, de Δ = — 1,618 à Δ = + 3,74 a varié de 1,623 à 2,384, les premières bulles d'oxygène ont paru à Δ = 2,435 et la polarisation a continué à croître ensuite.

Les nombres trouvés pour la résistance de la pile ont varié de 33,3 ou 35 ohms à 23,5 ou 18,4 suivant qu'on polarisait l'électrode par l'hydrogène ou par l'oxygène. M. Streintz en conclut à l'impossibilité de déterminer la polarisation initiale dans un circuit.

M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Traité théorique et pratique des courants alternatifs, par F. Loppé et R. Bouquet ; 2e volume. *E. Bernard et Cie*, éditeurs.

Nous avons présenté en son temps (¹) à nos lecteurs le premier volume de ce traité, volume uniquement consacré à la partie théorique. Dans leur second volume, les auteurs avaient l'intention de ne s'occuper que de la

(¹) Voir *Lum. Élect.*, t. LIII, p. 242, 1894.

partie pratique ; toutefois pour corriger quelques erreurs qui s'étaient glissées dans la théorie des moteurs asynchrones ils ont repris en entier cette théorie en la simplifiant beaucoup, mais certainement pas encore assez. Mais commençons par le commencement.

MM. Loppé et Bouquet s'occupent en premier lieu des alternateurs. C'est d'abord l'étude connue de M. Kapp sur la prédétermination de la forme de la courbe de la force électromotrice en fonction des dimensions relatives des bobines et des pièces polaires et le calcul de cette force électromotrice. Puis la question de l'influence de la self-induction avec quelques résultats expérimentaux sur sa variation en fonction de l'excitation de l'alternateur ainsi que de la position relative de son induit et de son inducteur.

L'influence de la fréquence vient après, mais une erreur de calcul ne permet pas de suivre les auteurs dans leur comparaison de deux alternateurs de fréquence double l'un de l'autre. La réaction d'induit est expliquée clairement et les *ampères-tours arrière* sont calculés d'après la méthode de M. Kapp.

Pour la mesure du rendement, les auteurs n'indiquent que la méthode différentielle de Mordey dont l'exactitude est douteuse pour tous les alternateurs ; il y aurait eu lieu de donner d'autres méthodes aussi commodes.

Parmi les caractéristiques à prendre sur un alternateur, l'une des principales, la caractéristique en court circuit en fonction de l'excitation, est laissée sous silence par les auteurs; elle est cependant, à notre avis, aussi utile que celle de la puissance en fonction du débit.

Les auteurs donnent ensuite la description des principaux alternateurs classés en alternateurs monophasés à inducteur fixe et induit mobile et réciproquement, à induit et inducteur fixes ; et enfin en alternateurs polyphasés. Nous ne donnerons pas ici la monographie des types étudiés, toutefois disons que l'industrie française y est bien représentée.

Le couplage des alternateurs au point de vue des procédés plus ou moins compliqués pour assurer la synchronisation initiale est traité en quelques pages précédant une méthode de calcul des alternateurs ni meilleure ni plus mauvaise que celles préconisées par d'autres auteurs. Disons toutefois que MM. Loppé et Bouquet y donnent quelques tableaux utiles pour le calcul des pertes par courant de Foucault et par hystérésis,

Un second chapitre, consacré aux moteurs à courant alternatif, débute par la description des procédés employés par divers inventeurs pour obtenir des champs tournants en pratique.

Les moteurs synchrones sont tout d'abord étudiés par un procédé graphique inspiré de Blakesley. La loi du courant minimum et les expériences de M. Mordey sur le couplage en récepteur à longue distance y sont bien signalées, mais l'interprétation de ces expériences manque.

Après les moteurs synchrones viennent les moteurs asynchrones avec reprise de leur théorie, plus simple que celle donnée dans le premier volume mais encore beaucoup trop compliquée et surtout trop aride pour qu'on puisse en tirer un bénéfice pratique.

Nous passons ensuite à la description des principaux types de moteurs asynchrones accompagnés chacun de quelques résultats expérimentaux intéressants, puis à leur calcul fait par méthode indiquée par M. Kolbin, méthode à laquelle les auteurs ont adjoint quelques considérations complémentaires.

Un dernier paragraphe sur l'influence de la forme de la courbe de la force électromotrice des générateurs sur le rendement des moteurs inspiré des expériences de M. Kolbin et en désaccord avec celles faites récemment en Amérique, termine la question des moteurs à courants alternatifs.

Au chapitre Transformateurs et Condensateurs, MM. Loppé et Bouquet rappellent tout d'abord les propriétés générales des transformateurs et étudient l'influence des divers éléments : induction, section des

noyaux, circuits magnétiques, résistance ohmique du circuit primaire, fréquence, fuites, joints, perméabilité.

La description des principaux types de transformateurs est donnée avec la même méthode que pour les alternateurs et les moteurs, c'est à dire avec quelques résultats d'expériences obtenus sur ces appareils.

Les condensateurs sont l'objet d'un paragraphe tiré presque entièrement de l'étude de MM. Hutin et Leblanc sur l'emploi de ces appareils.

Le chapitre IV est consacré à l'étude des foyers lumineux. Il débute par un résumé du travail de M. Blondel sur l'arc à courant alternatif. Les auteurs résument ensuite les travaux de la commission de Francfort. La description des bougies des principaux genres de régulateurs et quelques notions générales terminent ce chapitre peu important.

La transformation d'un courant en un courant d'un autre système, fait l'objet du chapitre suivant. Après avoir comparé les différents systèmes de courants alternatifs au point de vue des lignes, les auteurs décrivent les différents appareils employés dans ce but.

Ce sont; les onduleurs Solignac, les transformateurs inverseurs de M. F. Lucas, les transformateurs Polak, pour la transformation du courant continu en monophasé et réciproquement ; le transformateur de phase et de tension de MM. Hutin et Leblanc pour la transformation du courant continu en courants polyphasés ; le dispositif de ces mêmes inventeurs, le procédé Ferraris, celui de M. Korda pour la transformation d'un courant monophasé en diphasé ou triphasé ; le transformateur Scott de courants alternatifs triphasés en diphasés...

Au chapitre VI, MM. Loppé et Bouquet étudient les canalisations de distributions.

L'influence de la fréquence sur la résistance effective et celle de la température précède l'étude de l'influence de la capacité, de la self-induction et de l'effet Ferranti où les auteurs rappellent les expériences faites sur les câbles concentriques de Deptford.

La perte d'énergie dans les câbles armés non concentriques en courants de Foucault et hystérésis permet aux auteurs de rappeler les expériences faites à ce sujet par M. Jacquin.

La description des principaux systèmes de câbles employés précède l'étude des lignes aériennes et souterraines à laquelle sont annexées les précautions à prendre pour éviter les accidents par foudroiement et l'énumération des soins à donner aux victimes d'accidents par courants alternatifs.

Le mode de distribution du courant soit directement, soit par transformateurs, condensateurs, courants polyphasés fait l'objet du chapitre VII où les auteurs s'occupent en même temps les procédés de régulation du potentiel dans les stations centrales à courants alternatifs.

A signaler aussi dans ce chapitre la description des appareils spéciaux : interrupteurs pour haute tension, paratonnerres, etc., employés dans les distributions à courants alternatifs.

Enfin un dernier chapitre est consacré à la mesure industrielle des courants alternatifs et des appareils à employer : voltmètres, électro-dynamomètres et ampèremètres, wattmètres, phasemètres, secohmètres, perméamètres, etc. ; et aux méthodes de mesure du rendement des générateurs et moteurs à courants alternatifs.

En résumé, le traité de MM. Loppé et Bouquet est une œuvre sérieuse de compilation qui a besoin encore, comme toute première édition d'un ouvrage, de beaucoup de perfectionnements, mais qui, telle qu'elle est, peut rendre de nombreux services aux électriciens.

F. Guilbert.

L'Éditeur-Gérant : Georges CARRÉ

Imp. Em. Mauchaussat, 32, Boulevard Vaugirard.

TABLE DES MATIÈRES

Appareillage.

Appareils et méthodes de mesures.

Applications mécaniques de l'électricité.

Applications thermiques de l'électricité.

Bibliographie — Biographie — Nécrologie

Conduction. — Canalisation de l'électricité.

Cours.— Concours. - Conférences.— Sociétés savantes.— Expositions

Diélectrique.— Décharge disruptive

Divers.— Documents

Éclairage électrique.— Photométrie.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Electrobiologie.

Electrodynamique — Electromagnétisme.

Electrolyse — Electrochimie.

Electro-optique — Oscillations électriques. Rayons Roentgen.

Electrostatique.

Génération et transformation de l'énergie électrique.

Induction.

Magnétisme.

Météorologie électrique.

Moteurs électriques, à vapeur, thermiques, hydrauliques.

Télégraphie. — Téléphonie. — Chronographie. Horloges électriques. — Signaux.

Traction électrique.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE A L'ÉTRANGER

Transmission de l'énergie — Utilisation des forces naturelles.

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

G

H

J

K

L

M

N

O

P

R

S

T

V

W

Z

